



UNIVERSITAS PERTAHANAN

**ANALISIS MOBILITAS *MEDIUM TANK* PT. PINDAD
PADA DEFORMASI *TERRAIN***

**MUHAMMAD ABDI SUBHANUDDIN GILMAN
NIM: 120170404004**

**Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan**

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI DAYA GERAK**

**BOGOR
2019**



UNIVERSITAS PERTAHANAN

**ANALISIS MOBILITAS *MEDIUM TANK* PT. PINDAD
PADA DEFORMASI *TERRAIN***




**MUHAMMAD ABDI SUBHANUDDIN GILMAN
NIM: 120170404004**

**Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan**



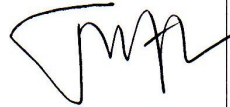


**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI DAYA GERAK**

**BOGOR
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Nama	: Muhammad Abdi Subhanuddin Gilman
NIM	: 120170404004
Program Studi	: Teknologi Daya Gerak
Fakultas	: Teknologi Pertahanan
Judul	: Analisis Mobilitas <i>Medium Tank</i> PT. Pindad Pada Deformasi <i>Terrain</i>
Pembimbing I,	Pembimbing II,
	
Dr. Sovian Aritonang S.Si., M.Si Kolonel Kes. NRP 519726	Dr. Ir. Ade Bagdja M.ME
Mengetahui,	
Dekan	
Fakultas Teknologi Pertahanan	
	
Romie Oktavianus Bura, B.Eng.(Hons)., MRAeS., Ph.D Penata Tingkat 1 III/d NIP 197310062006041001	

LEMBAR PEGESAHAN TESIS

Nama	: Muhammad Abdi Subhanuddin Gilman		
NIM	: 120170404004		
Program Studi	: Teknologi Daya Gerak		
Fakultas	: Teknologi Pertahanan		
Judul	: Analisis Mobilitas <i>Medium Tank</i> PT. Pindad Pada Deformasi <i>Terrain</i>		
No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Pembimbing I: Dr. Sovian Aritonang S.Si., M.Si Kolonel Kes. NRP 519726		02/09/19
2.	Pembimbing II: Dr. Ir. Ade Bagdja M.ME		27/09/19
3.	<i>Reviewer I</i> : Dr. Jupriyanto, S.T., M.T		03/10/19
4.	<i>Reviewer II</i> : Dr. Djamarel Hermanto, S.T., M.M., M.T Mayor Laut PM.		02/10/19
5.	<i>Reviewer III</i> : Drs. Khaerudin, M.M Kolonel Sus.		30/10/19

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/perundang – undangan yang berlaku.

Bogor, 16 September 2019



Muhammad Abdi Subhanuddin Gilman

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia – Nya penulisan tesis dengan judul Analisis Mobilitas *Medium Tank* PT. Pindad Pada Deformasi *Terrain* dapat diselesaikan.

Penyusunan tesis ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknologi Daya Gerak Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan.

Penyusunan tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Letjen TNI Dr. Tri Legionosuko, S.IP., M.AP, Selaku Rektor Universitas Pertahanan
2. Romie Oktovianus Bura, B.Eng.(Hons)., MRAeS., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan
3. Brigjen TNI Dr. (Cand) Deni D.A.R., M.Si(Han), selaku Wakil Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan
4. Kolonel Kes Dr. Sovian Aritonang S.Si., M.Si, selaku Pembimbing 1
5. Dr. Ir. Ade Bagdja M.ME, selaku Pembimbing 2
6. Seluruh Jajaran dan Staf Fakultas Teknologi Pertahanan
7. Seluruh Jajaran dan Staf PT. Pindad
8. Mahasiswa Universitas Pertahanan, terkhususnya rekan – rekan Teknologi Daya Gerak

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan – kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Peneliti menyadari bahwa tesis ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan tesis ini.

Akhirnya, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi *stakeholder* terkait dalam upaya mengembangkan ilmu terramekanik untuk kemajuan pertahanan indonesia

Bogor, 16 September 2019

Muhammad Abdi Subhanuddin Gilman

ABSTRAK
ANALISIS MOBILITAS *MEDIUM TANK* PT. PINDAD
PADA DEFORMASI *TERRAIN*

MUHAMMAD ABDI SUBHANUDDIN GILMAN

Upaya pengembangan industri pertahanan dilaksanakan untuk memoderenisasi kekuatan militer, salah satunya dengan melakukan pengembangan teknologi pertahanan. Fokus pengembangan teknologi Alpalhankam khususnya *Medium Tank* melibatkan kementerian dan lembaga dengan melakuka *joint development*. Dalam hal ini, PT.Pindad melakukan *joint development Medium Tank* bersama FNSS *Defense System* Turki. Pengembangan *Medium Tank* memiliki tiga kriteria, yakni *survivability*, *fire power*, dan *mobility*. Tujuan dari penelitian ini berfokus pada mobilitas *Medium Tank* mencakup analisis parameter *terrain* dan *Medium Tank* serta analisis interaksi *terrain* dengan *Medium Tank*. Analisis data parametrik untuk mendapatkan nilai interaksi antara *terrain* dengan track *Medium Tank* diantaranya hubungan *shear stress – normal stress*, hubungan *pressure – sinkage*, hubungan *shear stress – shear displacement*, *thrust*, *speed*, *drawbarpull* dan hubungan *thrust – slip*. Sedangkan analisis data empiris untuk mendapatkan pengukuran daya dukung tanah dengan *Cone Index* (CI), *Remoulding Cone Index* (RI), *Rating Cone Index* (RCI), perhitungan parameter kendaraan dengan *Nominal Ground Pressure* (NGP), *Mobility Index* (MI), *Mean Maximum Pressure* (MMP), perhitungan parameter limit kendaraan dengan *Limiting Cone Index* (CL_L), *Vehicle Cone Index* (VCI), *Vehicle Limiting Cone Index* (VCL_L), terakhir pengukuran performa *Medium Tank* dengan *Mobility Numeric* dan *Excess Soil Strenght*. Sehingga dari analisis parametrik didapatkan bahwa walaupun tanah liat memiliki *shear strees* yang lebih kecil dibanding pasir namun ketika *Medium Tank* melintas penurunannya lebih cepat dibanding pasir, membuat analisis empiris lebih menakutkan dengan hasil bahwa tanah liat atau tanah butiran halus tidak dapat dilewati oleh *Medium Tank* atau beresiko tertahan, sedangkan pasir atau tanah butiran kasar dapat dilewati oleh *Medium Tank*.

Kata Kunci: *terrain*, *Medium Tank*, interaksi *terrain – Medium Tank*

ABSTRACT
ANALYSIS of PT. PINDAD MEDIUM TANK'S MOBILITY
ON TERRAIN DEFORMATION

MUHAMMAD ABDI SUBHANUDDIN GILMAN

Defense industry development efforts is implemented regarding military power modernization, one of it is implemented through defense technology development. Defense and Security Equipment Tools development focus especially Medium Tank are involving ministries and institutions to build joint development. In this case, PT. PINDAD is underway Medium Tank joint development with Turkey's FNSS Defense System. Medium Tank development has three substances such as survivability, fire power, and mobility. This research focused on mobility of Medium Tank, including terrain parameter analysis and Medium Tank interaction to terrain. Data analysis parametric employed to know interaction between Medium Tank's track with the terrain, among others are to know correlations of shear stress – normal stress, pressure – sinkage, shear stress – shear displacement, thrust, speed, drawbarpull and thrust – slip. As the empirical data analytics to know land carrying capacity measurements towards cone index (CI), Remoulding Cone Index (RI), Rating Cone Index (RCI), vehicle's parameter calculation towards Nominal Ground Pressure (NGP), Mobility Index (MI), Mean Maximum Pressure (MMP), vehicle's limit parameter calculation towards Limiting Cone Index (CL), Vehicle Cone Index (VCI), Vehicle Limiting Cone Index (VCL), the last is Medium Tank's performance measurement towards Mobility Numeric and Excess Soil Strength. With the result that, from the parametric analysis, it was found that even clay has lesser shear stress than sand, when the Medium Tank sloping in to the former was faster than the latter terrain. Through empirical analysis found firmly that clay or ground fine grains was unable to be drifted by Medium Tank and/or has risk to be pent-up, whereas sand or ground fine grains was able to be drift by Medium Tank.

Keywords: terrain, Medium Tank, terrain – Medium Tank interaction

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pembatasan Masalah	8
1.3 Rumusan Masalah.....	8
1.4 Tujuan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	9

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Konseptual.....	10
2.1.1 Ilmu Pertahanan	10
2.1.2 Industri Pertahanan	15
2.1.3 <i>Medium Tank</i>	21
2.1.4 Pengembangan <i>Medium Tank</i> PT. Pindad.....	24
2.2 Landasan Teori.....	33
2.2.1 Struktur Tanah.....	33
2.2.2 Perilaku <i>Terrain</i>	34
2.2.2.1 <i>Terrain</i> Sebagai Medium Elastis.....	34

2.2.2.2	<i>Terrain</i> Sebagai Medium Plastis	37
2.2.2.3	Perilaku <i>Terrain</i> Berdasarkan <i>Critical Stade Soil Mechanics</i>	39
2.2.3	Karakteristik Respon <i>Terrain</i> Terhadap Beban Normal dan <i>Repetitive Loading</i>	40
2.2.3.1	Hubungan <i>Pressure – Sinkage</i>	40
2.2.3.2	Respon <i>Terrain</i> Terhadap <i>Repetitive Loading</i>	43
2.2.4	Karakteristik Hubungan <i>Shear Stress – Displacement</i>	44
2.2.5	Performa Kendaraan <i>Tracked</i>	46
2.2.5.1	Faktor Resistensi Pada Performa Kendaraan <i>Tracked</i>	46
2.2.5.2	Faktor <i>Thrust</i> Pada Performa Kendaraan <i>Tracked</i>	48
2.2.5.3	<i>Drawbar Power</i> dan <i>Efisiensi Tractive Drawbar</i>	49
2.2.6	Metode Analisis Parametrik.....	51
2.2.7	Mengukuran Sifat Kekuatan Tanah	57
2.2.7.1	<i>Cone Index</i> (CI)	57
2.2.7.2	<i>Remoulding Index</i> (RI).....	58
2.2.7.3	<i>Rating Cone Index</i> (RCI)	59
2.2.8	Parameter Karakteristik Mobilitas Kendaraan	59
2.2.8.1	<i>Nominal Ground Pressure</i> (NGP)	60
2.2.8.2	<i>Mobility Index</i> (MI)	60
2.2.8.3	<i>Mean Maximum Pressure</i> (MMP)	61
2.2.9	Parameter Limit Mobilitas Kendaraan	62
2.2.9.1	<i>Limiting Cone Index</i> (CL).....	62
2.2.9.2	<i>Vehicle Cone Index</i> (VCI)	62
2.2.9.3	<i>Vehicle Limiting Cone Index</i> (VLCI)	63
2.2.10	Prediksi Performa Mobilitas.....	63
2.2.10.1	<i>Mobility Numerics</i>	63

2.2.10.2 <i>Excess Soil Strength</i>	64
2.3 Penelitian Terdahulu	65
2.4 Kerangka Pikir.....	69

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian dan Diagram Alir Penelitian	70
3.1.1 Metode Penelitian	70
3.1.2 Diagram Alir Penelitian	71
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	72
3.2.1 Tempat Penelitian	72
3.2.2 Waktu Penelitian	72
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	72
3.3.1 Dokumentasi	73
3.3.2 Wawancara	73
3.3.3 Data Primer	73
3.3.4 Data Sekunder	73
3.4 Teknik Analisis Data	74

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data.....	76
4.1.1 Deskripsi Data <i>Terrain</i>	76
4.1.2 Deskripsi Data <i>Medium Tank</i>	79
4.1.2.1 <i>Engine</i> CAT C13 (711HP)	79
4.1.2.2 <i>Transmisi</i> CAT X30	80
4.1.2.3 <i>Torque Converter</i>	80
4.1.2.4 <i>Final Drive</i>	81
4.1.2.5 <i>Sproket</i>	81
4.1.2.6 <i>Idler</i>	82
4.1.2.7 <i>Track Link</i>	82
4.1.2.8 <i>Road Wheels</i>	83
4.1.2.9 <i>Ground Clearance</i>	83

4.1.2.10	Berat <i>Medium Tank</i>	83
4.1.2.11	<i>Ratio</i> L/T dan L/B	84
4.2	Analisis Parameter <i>Terrain</i> dan Parameter <i>Medium Tank</i>	85
4.2.1	Analisis Parametrik <i>Terrain</i>	85
4.2.1.1	Karakterisasi Hubungan <i>Shear stress-Normal Stress</i>	85
4.2.1.2	Karakterisasi Hubungan <i>Pressure-Sinkage</i>	88
4.2.1.3	Karakterisasi Hubungan <i>Shear Stress – Shear Displacement</i>	91
4.2.2	Analisis Parametrik <i>Medium Tank</i>	94
4.2.2.1	Faktor yang Mempengaruhi Performa <i>Medium Tank</i>	95
a.	<i>Aerodynamic Resistance</i> (R_a)	96
b.	<i>Rolling Resistance</i> (R_v).....	96
c.	<i>Gradient Resistance</i> (R_g)	97
4.2.2.2	<i>Thrust (Tractive Effort)</i>	97
4.2.2.3	<i>Drawbar Pull dan Drawbar Power</i>	100
4.2.2.4	<i>Tractive Efficiency (Drawbar)</i>	101
4.3	Analisis Parametrik Interaksi <i>Terrain</i> dengan <i>Medium Tank</i>	103
4.3.1	Analisis <i>Motion Resistance of a Track</i>	103
4.3.2	Analisis <i>Tractive Effort and Slip of a Track</i>	107
4.3.2.1	Analisis Distribusi <i>Normal Pressure</i> Seragam ..	109
4.3.2.2	Analisis Distribusi <i>Normal Pressure</i> Sinusoidal.....	111
4.3.2.3	Analisis <i>Normal Pressure</i> meningkat secara linear dari depan kendaraan.....	113
4.3.2.4	Analisis <i>Normal Pressure</i> Menurun Secara Linear dari Belakang ke Depan	115
4.3.2.5	Analisis Distribusi <i>Normal Pressure</i> Sinusoidal dengan <i>Maximum Pressure</i> di	

	tengah, <i>Zero Pressure</i> di ujung depan dan belakang.....	117
4.4	Analisis Empiris Parameter <i>Terrain</i> dan Parameter <i>Medium Tank</i>	120
4.4.1	Analisis Empiris Parameter <i>Terrain</i>	120
4.4.2	Analisis Empiris Parameter Kendaraan.....	123
4.4.2.1	<i>Nominal Ground Pressure (NGP)</i>	123
4.4.2.2	<i>Mobility Index (MI)</i>	124
4.4.2.3	<i>Mean Maximum Pressure (MMP)</i>	125
4.4.2.4	<i>Limiting Cone Index (C_L)</i>	127
4.4.2.5	<i>Vehicle Cone Index (VCI)</i>	127
4.4.2.6	<i>Vehicle Limiting Cone Index (VC_L)</i>	128
4.4.3	Analisis Empiris Interaksi <i>Terrain</i> dengan <i>Medium Tank</i>	130
4.4.3.1	<i>Mobility Numerics</i>	130
4.4.3.2	<i>Excess Soil Strength</i>	132
BAB 5 KESIMPULAN		
5.1	Kesimpulan	134
5.2	Saran	136
DAFTAR PUSTAKA		137
LAMPIRAN		142
RIWAYAT HIDUP PENELITI		150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kriteria <i>Medium Tank</i>	4
Gambar 2.1	<i>Triple Helix</i> Hubungan Industri Pertahanan	12
Gambar 2.2	Pengembangan Teknologi Pertahanan	13
Gambar 2.3	Penerapan Terramekanik	14
Gambar 2.4	Komponen Pertahanan Negara	15
Gambar 2.5	Masterplan Pengembangan Industri Pertahanan	17
Gambar 2.6	Pengelompokan Industri Pertahanan.....	18
Gambar 2.7	Pengembangan Produk Kendaraan Khusus/Kendaraan Tempur PT. Pindad.....	20
Gambar 2.8	Tampilan <i>Medium Tank</i> PT. Pindad.....	26
Gambar 2.9	Tampilan Komponen Kemudi <i>Medium Tank</i> PT. Pindad	26
Gambar 2.10	Desain Struktur <i>Medium Tank</i> PT. Pindad.....	27
Gambar 2.11	Sistem Otomotif <i>Medium Tank</i> PT. Pindad.....	28
Gambar 2.12	Sistem Elektrikal <i>Medium Tank</i> PT. Pindad.....	29
Gambar 2.13	<i>Power Pack, Transmission, dan Final Drive Medium Tank</i> PT. Pindad	30
Gambar 2.14	<i>Engine CAT C13 Medium Tank</i> PT. Pindad	30
Gambar 2.15	Sistem Suspensi dan <i>Track Link Medium Tank</i> PT. Pindad	31
Gambar 2.16	Tahapan untuk penentuan awal <i>Powerpack</i>	31
Gambar 2.17	Gambar alur <i>Final Drive</i>	32
Gambar 2.18	Hubungan tegangan – regangan dari bahan elastoplastik yang ideal	35
Gambar 2.19	Tegangan dalam semi – <i>infinite elastic</i> medium pada beban titik di permukaan.....	35
Gambar 2.20	Distribusi tegangan vertikal pada medium semi – <i>infinite</i> <i>elastic</i> di bawah kendaraan	36
Gambar 2.21	Distribusi tegangan radial di bawah beban titik di tanah yang berbeda faktor konsentrasi.....	37
Gambar 2.22	Kriteria kegagalan <i>Mohr-Coulomb</i>	38

Gambar 2.23	<i>Action</i> geser pada roda dan track	38
Gambar 2.24	Distribusi ukuran butir pasir	40
Gambar 2.25	Distribusi ukuran butir tanah liat.....	40
Gambar 2.26	Distribusi ukuran butir lempung	41
Gambar 2.27	<i>Pressure – sinkage</i> Pasir	41
Gambar 2.28	<i>Pressure – sinkage</i> Tanah Liat.....	42
Gambar 2.29	<i>Pressure – sinkage</i> Lempung	42
Gambar 2.30	Respon dari <i>repetitive normal load</i> dari <i>mineral terrain</i>	43
Gambar 2.31	<i>Shear displacement</i> dari perluasan terrain dari depan ke belakang kendaraan <i>tracked</i>	45
Gambar 2.32	Gaya yang bekerja pada kendaraan <i>tracked</i>	47
Gambar 2.33	Gambar yang berpengaruh pada kondisi tanjakan	47
Gambar 2.34	Performa <i>Drawbar</i> pada Kendaraan <i>Tracked</i>	49
Gambar 2.35	Efisiensi traksi (<i>drawbar</i>) pada fungsi <i>drawbarpull</i>	50
Gambar 2.36	Model sederhana untuk performa kendaraan <i>tracked</i>	52
Gambar 2.37	Pengembangan dari <i>shear displacement</i> dan <i>shear stress</i> dibawah <i>rigid track</i>	53
Gambar 2.38	Variasi distribusi <i>normal pressure</i> yang ideal dibawah <i>track</i>	55
Gambar 2.39	Efek dari distribusi tekanan normal pada <i>tractive effort</i> (<i>thrust</i>) sebuah <i>track</i> pada pasir	57
Gambar 2.40	Penentuan <i>Cone Index</i>	58
Gambar 2.41	<i>Remolding Index</i>	59
Gambar 2.42	Kerangka Berfikir	69
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	71
Gambar 3.2	Analisis Data Parametrik	74
Gambar 3.3	Analisis Data Empiris.....	75
Gambar 4.1	Tanah Liat.....	76
Gambar 4.2	Pasir Kering	76
Gambar 4.3	Klasifikasi Tanah.....	77
Gambar 4.4	Gambar dan Spesifikasi Teknik <i>Medium Tank</i>	79

Gambar 4.5	<i>Torque Converter Medium Tank</i>	80
Gambar 4.6	<i>Final Drive Medium Tank</i>	81
Gambar 4.7	<i>Sproket Medium Tank</i>	81
Gambar 4.8	<i>Idler Medium Tank</i>	82
Gambar 4.9	<i>Track Link Medium Tank</i>	82
Gambar 4.10	<i>Ground Clearance Medium Tank</i>	83
Gambar 4.11	<i>Ratio L/T dan L/B Medium Tank</i>	85
Gambar 4.12	Hubungan <i>Shear Stress – Normal Stress</i> Pasir Tanah Liat.....	87
Gambar 4.13	Hubungan <i>Shear Stress – Normal Stress</i> Pasir Pasir.....	88
Gambar 4.14	Hubungan <i>Pressure – Sinkage</i> Tanah Liat.....	90
Gambar 4.15	Hubungan <i>Pressure – Sinkage</i> Pasir.....	91
Gambar 4.16	Hubungan <i>Shear Stress – Shear Displacement</i> Tanah Liat	93
Gambar 4.17	Hubungan <i>Shear Stress – Shear Displacement</i> Pasir	94
Gambar 4.18	Hubungan <i>Tractive Effort – Gear Ratio Medium Tank</i>	98
Gambar 4.19	Hubungan <i>Speed – Gear Ratio Medium Tank</i>	100
Gambar 4.20	Distribusi <i>Normal Pressure</i> yang seragam	109
Gambar 4.21	Distribusi <i>Normal Pressure</i> sinusoidal	111
Gambar 4.22	<i>Normal Pressure</i> meningkat secara linear dari depan kendaraan.....	113
Gambar 4.23	<i>Normal Pressure</i> Menurun Secara Linear dari Belakang ke Depan.....	115
Gambar 4.24	Distribusi <i>Normal Pressure</i> sinusoidal dengan <i>Maximum Pressure</i> di tengah, <i>Zero Pressure</i> di ujung depan dan belakang	117
Gambar 4.25	Hubungan <i>Thrust – Slip</i> Pasir.....	119
Gambar 4.26	Hubungan <i>Thrust – Slip</i> Tanah Liat	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Integrasi Riset Pengembangan Teknologi Pertahanan.....	13
Tabel 2.2	<i>Software Analisis Medium Tank</i> PT. Pindad	29
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	67
Table 3.1	Pelaksanaan Jadwal Penelitian	72
Tabel 4.1	Data tanah untuk analisis parametrik.....	77
Tabel 4.2	Rentang dan nilai rata – rata RCI	78
Tabel 4.3	Nilai <i>Terrain</i>	86
Tabel 4.4	Nilai Hubungan <i>Pressure – Sinkage</i>	89
Tabel 4.5	Nilai Hubungan <i>Shear Stress – Shear Displacement</i>	92
Tabel 4.6	Variasi lapisan kritis	121
Tabel 4.7	Rentang dan nilai rata-rata RCI untuk tanah	121
Tabel 4.8	Parameter <i>Nominal Ground Pressure</i>	123
Tabel 4.9	Parameter <i>Mobility Index</i>	124
Tabel 4.10	Parameter <i>Mean Maximum Pressure</i>	126
Tabel 4.11	Parameter <i>Limiting Cone Index</i>	127
Tabel 4.12	Parameter <i>Vehicle Cone Index</i>	128
Tabel 4.13	Parameter <i>Vehicle Limiting Cone Index</i>	129
Tabel 4.14	Parameter <i>Mobility Numerics</i>	130
Tabel 4.15	Parameter <i>Excess Soil Strength</i>	132

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Upaya pencapaian tujuan nasional dan melindungi kepentingan nasional memunculkan tantangan keamanan. Kawasan Asia Pasifik berkembang sangat dinamis memberi dampak pada permasalahan keamanan. Beberapa negara di kawasan Asia Pasifik telah memodernisasi kekuatan pertahanan, menciptakan situasi yang kompleks dan berbahaya, terutama dikaitkan dengan adanya potensi konflik yang sedang berlangsung di kawasan, seperti di Laut Cina Selatan. Berkaca dari hal ini Indonesia melakukan modernisasi kekuatan militer yang dengan pengembangan teknologi pertahanan. Pengembangan teknologi pertahanan yang dimaksudkan untuk membangun kemampuan menghasilkan Alat Peralatan Pertahan Keamanan (Alpalhankam) yang unggul (Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2015). Sistem pertahanan Indonesia yang menyangkut Alpalhankam menjadi agenda utama dalam menyempurnahkan kekuatan postur pertahanan Indonesia dalam menghadapi berbagai potensi ancaman (Muhaimin, 2008).

Selain itu kawasan Asia Pasifik memiliki potensi sengketa perbatasan yang belum sepenuhnya dapat diselesaikan, terutama di kawasan perbatasan darat negara baik di kalimantan, papua, nusa tenggara timur dan yang belum mendapatkan kesepakatan bersama dan pulau – pulau kecil terluar / terdepan. Saat ini, perlintasan dan penyebaran bahan – bahan berbahaya secara ilegal melalui perbatasan darat menyebabkan kerawanan terhadap keamanan. Kondisi ini bila tidak secepatnya diatasi dan dikontrol secara optimal berpotensi mengancam pertahanan negara. Mengingat pada kemajuan iptek potensi ancaman semakin meningkat sehingga keberadaan

Alpalhankam menjadi kebutuhan secara kualitas dan kuantitas yang sesuai karakteristik wilayah dan menghilangkan ketergantungan terhadap pemenuhan dari negara lain (Rachmat, 2016).

Fokus pengembangan teknologi Alpalhankam dilakukan melalui Industri Pertahanan Nasional dengan melibatkan Pemerintah sebagai regulator (Kementerian Pertahanan (Kemhan), Kementerian Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Kementerian Perindustrian (Kemenperin), Kementerian Riset dan Teknologi (Kemenristek), dll), Industri Pertahanan BUMN dan Badan Usaha Milik Swasta (BUMS) sebagai produsen dan terakhir Tentara Nasional Indonesia (TNI), Kepolisian Republik Indonesia (Polri), Kementerian dan Lembaga – lembaga lain, Luar Negeri/Ekspor sebagai konsumen yang dilaksanakan secara terpadu (Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2015). Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan disebutkan “Sinergitas pengembangan Alpalhankam dikoordinasikan dalam Komite Kebijakan Industri Pertahanan (KKIP) sebagai koordinator perencanaan, perumusan, pelaksanaan, pengendalian, sinkronisasi, dan evaluasi penyelenggara Industri Pertahanan”.

Industri Pertahanan yang bergerak dalam pengembangan teknologi Alpalhankam yaitu PT. Pindad yang berfungsi untuk pemenuhan kebutuhan Alpalhankam Pertahanan Indonesia (Rachmat, 2016). PT. Pindad berusaha menunjukkan kiprahnya dalam rangka memaksimalkan kemandirian Produksi Alpalhankam Strategis bagi TNI, sehingga memberikan perimbangan kemampuan di wilayah Asia Pasifik. PT. Pindad memiliki produktifitas pengembangan teknologi sejak tahun 2009 sampai sekarang yang terus mengalami peningkatan (*Bidang Usaha dan Perkembangan Usaha*, 2014). Paska keberhasilan PT. Pindad dalam membuat seri dari Armored Personnel Carrier (APC) Anoa, Panser Tarantula, dll. PT. Pindad melanjutkan ke proyek selanjutnya dengan komposisi teknologi lebih tinggi, tak lain adalah Tank.

Peningkatan ini didasari dari pemenuhan *Minimum Esensial Forces* (MEF). Tahap I (pertama) pada Tahun 2010 – 2014, Tahap II (kedua) yang saat ini berlangsung 2015 – 2019, dan Tahap III (ketiga) akan dilaksanakan 2020 – 2024 (Djarwono, 2017). PT Pindad memiliki keinginan penguasaan teknologi pada MEF tahap II tahun 2015 – 2019 yaitu pengembangan *Medium Tank* sehingga pada tahun 2020 – 2029 mempunyai kemampuan untuk membuat *Main Battle Tank* (MBT).

Pengembangan tujuh Alpalhankam strategis kementerian pertahanan dalam pemenuhan MEF memasukan proyek *Medium Tank* (*Menhan Tinjau Perkembangan Medium Tank Pindad*, 2017). Proyek *Medium Tank* dalam program tersebut adalah keinginan Kementerian Pertahanan meningkatkan sumber daya manusia dan meningkatkan kemampuan Industri Pertahanan khususnya PT. Pindad untuk merancang sendiri produknya sesuai kebutuhan TNI (*Menhan Tinjau Turret Dalam Medium Tank*, 2017). Kemampuan *Medium Tank* yang memiliki daya hancur yang mematikan, akurasi dan daya jangkauan yang lebih jauh, sistem kontrol yang efektif, kecepatan mobilitas operasional dan taktis yang lebih tinggi serta keunggulan lainnya menjadi syarat pengembangan teknologi Alpalhankam keinginan Kementerian Pertahanan dan khususnya kebutuhan satuan matra darat sebagai pelengkap dan pelindung pasukan infanteri (Widjajanto, 2013). Direncanakan proyek *Medium Tank* adalah untuk modernisasi Tank Ringan uzur AMX-13 buatan Perancis dan juga akan menggantikan Tank Scorpion buatan Inggris yang masih menjadi andalan *YonKav* TNI AD saat ini. Sehingga nantinya akan menjadi satu Platform Tank yang dapat menghasilkan varian lain selain *Main Battle Tank*, yakni *Light Tank*, *Armored Personnel Carrier* (APC), *Infantry Fighting Vehicle* (IFV), *ACV*, *Self Propelled Artillery*, dan *Self Propelled Missile System*.

Pada tahun 2010 PT. Pindad melakukan *joint development Medium Tank* bersama *FNSS Defense Systems* yang dituangkan dalam *Protocol on*

Defense Industry Cooperation antara Kementerian Pertahanan Republik Indonesia dan Kementerian Pertahanan Turki (Wulandari, 2017). Kedua negara selanjutnya mendesain *platform* tank untuk TNI dan untuk Turki yang dimulai dari pengembangan tenaga ahli, pembentukan teknologi dan produksi Alpalhankam di tahun 2014 (*Pindad dan FNSS Luncurkan Desain Medium Tank di Indo Defence 2016*, 2016). Proses produksi tersebut melahirkan *prototype Medium Tank* pada tahun 2017 yang selanjutnya dilakukan tahap pengujian dan sertifikasi. Berikut adalah kriteria yang menjadi bagian dari Medium Tank pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kriteria *Medium Tank*

Sumber : <http://www.milscint.com/en/analysis-kaplan-mt-poised-to-become-force-multiplier-for-indonesia/>.

Pengembangan teknologi *Medium Tank* memiliki tiga kriteria, pertama *Survivability* (Ketahanan) yaitu *Armored Vehicle*, *Medium Tank* rancangan PT. Pindad dan FNSS memiliki kemampuan pertahanan balistik dan anti ancaman ranjau terkini, seperti sejumlah proteksi canggih sebagai pelindung pasukan. Di antaranya adalah *STANAG 4569 Level 4* dari tembakan peluru balistik berproyektil 14.5mm dan *STANAG 4569 Level 5* untuk bertahan dari serangan peluru kaliber 25mm yang menggunakan teknologi penembus lapis baja (*armour piercing discarding sabot-tracer*). Tank ini juga dilengkapi dengan mode anti radiasi nuklir (*a chemical*,

biological, radiological and nuclear (CBRN) protection system), pemindai laser dan granat asap untuk kondisi darurat.

Kedua *Fire Power* (Daya Gempur) yaitu *Gun*, kendaraan lapis baja ini diawaki oleh tiga orang petugas yakni komandan, *driver* dan penembak (*loader*). Untuk persenjataan, *Medium Tank* menggunakan meriam *CMI Cockeril 3105* yang terintegrasi dengan Senapan mesin *coaxial* kaliber 7.62mm. Meriam *Medium Tank* memiliki mekanisme *autoloader* dengan 12 butir peluru di *turret* dan 26 butir peluru cadangan di dalam *hull*. Ketiga *Mobility* (Daya gerak) yaitu *Tracked Vehicle*. Kemampuan gerak, manuvernya lincah dan mampu melakukan *pivot*. *Medium Tank* memiliki bobot 32 ton, powernya 20 *Horse Power*, kecepatan maksimal 70 km/jam. Menggunakan mesin diessel dengan transmisi *fully automatic* dan berdaya jangkau hingga 450 km. Dalam keadaan diam, *Medium Tank* dapat berjalan secara senyap tanpa terdengar suara walaupun mesin telah dimatikan karena memiliki *SilentWatch* yang dilengkapi baterai tambahan. Menggunakan *track* bertipe *flexibel tracked* dengan sistem *double pinned tracks* dan suspensi *torsian bar* yang dilengkapi dengan 6 *Wheeled* di tiap sisinya, mampu melewati parit selebar 1,5 meter, kemiringan 30% dan halang rintangan jalan setinggi 70 cm.

Mobilitas merupakan karakteristik penting dari sebuah *Medium Tank*. Seluruh parameter dari tank memberi kemampuan kepada komandan militer untuk memproyeksikan kekuatan ke titik mana pun dalam menjalankan operasi. Karena beragam sifat dan lokasi konflik militer, maka *Medium Tank* seharusnya idealnya dapat beroperasi di atas segala jenis *terrain*. Dalam prakteknya ada batasan tetapi ini harus sesedikit mungkin. Ada beberapa faktor yang dapat membatasi mobilitas *Medium Tank*. Karena *Medium Tank* adalah kendaraan darat, berat mereka harus didukung oleh *terrain* di mana mereka beroperasi. Jika melewati *soft terrain*, menyebabkan tank tenggelam berlebihan, yang dapat menyebabkan *immobilitas*. Sumber *immobilitas* lain

adalah hambatan, yang muncul dalam berbagai bentuk. Bentuk parit yang menyebabkan *Medium Tank* dapat jatuh dan tidak dapat melepaskan diri. Puing – puing perkotaan atau penghalang dari sifat yang mirip. Masalah mobilitas lain oleh rintangan air, yang mungkin cukup dangkal untuk mengaranginya, atau cukup dalam sehingga perlu untuk mendapatkan kemampuan amfibi. Desain suspensi yang tidak sesuai dapat mempengaruhi tekanan tanah ketika kendaraan beroperasi di medan kasar dan kemampuan kendaraan untuk melewati hambatan.

Mobilitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk bergerak atau berpindah secara bebas dan mudah. Mobilitas *Medium Tank* secara khusus didefinisikan sebagai kemampuan untuk bergerak pada *terrain* tertentu yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (George *et al.*, 2017). Kondisi geografis Indonesia yang beragam meliputi daerah hutan, perkotaan, rawa-rawa, perairan, dan pegunungan merupakan daerah yang sangat bervariasi. Perbatasan Kalimantan memiliki topografi sebagian daerah daratannya berawa – rawa bercampur gambut dan hutan *mangrove*. Pada perbatasan Papua topografi daerah cukup bervariasi, mulai dari dataran, hingga landai serta berbukit atau gunung 700 meter di atas permukaan air laut. Terdapat perbukitan yang terjal, rawa-rawa dan hutan lindung (*Keadaan Topografi dan Iklim*, n.d).

Pentingnya penguasaan *terrain* untuk mobilitas *Medium Tank*, karena ketika menjalankan operasi di daerah perbatasan, mobilitas kendaraan mampu melalui jenis tanah yang bersifat kering, basah, berupa pasir, atau tertutup salju. Jenis – jenis tanah ini didefinisikan sebagai *terrain* yang berdeformasi. Deformasi *terrain* adalah perubahan bentuk, posisi, dimensi *terrain* yang dipengaruhi oleh faktor tekanan dari berbagai arah, yang menjadikan *terrain* bersifat elastis dan plastis. Konsep dari deformasi *terrain* ini menjadikan mekanika tanah adalah faktor untuk mobilitas *Medium Tank*. Selain itu juga perlunya pengembangan untuk menguasai teknologi *track*

(Wardhana, 2017). *Track* adalah suatu sistem pergerakan kendaraan yang menggunakan roda sebagai penggerak yang berhubungan dengan sabuk. Sabuk yang digunakan biasanya dibuat dari baja yang mengakibatkan gaya gesek di area kontak sabuk dengan *terrain* yang ditempuhnya. Hal ini menimbulkan gaya traksi pada kendaraan yang mengakibatkan kendaraan bergerak maju. Mobilitas *track Medium Tank* PT. Pindad dalam hal ini Industri Pertahanan baru dalam pengembangan Tank atau khususnya kendaraan *track* menjadikan kurangnya pengetahuan tentang teknologi mobilitas tank secara detail (*Membuat tank tempur utama*, n.d). Penguasaan teknologi *track* tank masih relatif tertinggal dibanding negara maju produsen Alpalhankam lainnya. Disamping itu juga untuk pemenuhan alpalhankam yang mempunyai standart *North Atlantic Treaty Organization* (NATO). Mobilitas *track Medium Tank* masih belum dikembangkan utamanya oleh TNI sebagai pengguna, penelitian terhadap mobilitas *track* masih berfokus pada kendaraan pertanian, eksplorasi planet, pertambangan dan konstruksi atau alat berat yang menggunakan tipe *rigid track* dan belum maksimal di bidang pertahanan yang fokusnya adalah *flexible track*, serta sarana dan prasarana untuk penelitian mobilitas *track* tank masih terbatas di Indonesia.

Memahami kondisi *terrain* sangatlah penting, namun faktor utama untuk mobilitas *Medium Tank* juga harus mengevaluasi performa *track*. Performa kendaraan *track* memperhitungkan semua parameter kendaraan desain dan operasional kendaraan *track*, serta karakteristik *terrain*. Berbagai model untuk memprediksi dan mengevaluasi kinerja kendaraan *track* telah dikembangkan. Pengembangan ini berdasarkan metode analisis parametrik dan metode empiris (Wong *et al.*, 1986).

Metode Analisis Parametrik adalah salah satu metode untuk analisis kinerja sistem *track*. Bahwa *track* yang bersentuhan dengan *terrain*, mirip dengan pijakan yang kaku. Membuat penggunaan hubungan *pressure – sinkage* dari *terrain*. Berdasarkan hubungan *shear stress – shear*

displacement dan *shear strain* dari *terrain*. hubungan *thrust* – *slip* dan traksi maksimum *system track* (Bekker, 1960). Diakui bahwa interaksi antara kendaraan *track* dan *terrain* sangat rumit dan sulit untuk dimodelkan secara akurat. Untuk menghindari kesulitan ini, metode empiris telah dikembangkan, metode ini didasarkan pada hasil uji angka kendaraan *track* yang representatif di berbagai medan yang diminati. Kendaraan yang diukur kinerjanya kemudian berkorelasi secara empiris dengan kondisi *terrain*, biasanya diidentifikasi dengan observasi dan pengukuran sederhana. Ini dapat mengarah pada pembentukan skala untuk mengevaluasi mobilitas kendaraan di satu sisi dan lalu lintas medan di sisi lain (Wong, 2001). Maka akan memberikan hasil untuk tiap parameter yang berinteraksi dan mengetahui kondisi statis dan dinamis *Medium Tank* yang bergerak pada *terrain* yang berdeformasi.

1.2 Pembatasan Masalah

Ruang lingkup pada penelitian ini membatasi penelitian pada penggunaan parameter kendaraan tracked (*Medium Tank* PT. Pindad) dan penggunaan parameter *mineral terrain* pada wilayah Indonesia.

- a. Fokus pada *mineral terrain* berupa pasir dan tanah liat
- b. Fokus pada pasir dan tanah liat sesuai dengan topografi indonesia
- c. Fokus pada *Medium Tank* dengan bobot 30 ton
- d. Fokus pada *Medium Tank* dengan kecepatan 70 km/jam

1.3 Rumusan Masalah

Mengacu pada batasan masalah, maka permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana parameter *terrain* dan parameter kendaraan terhadap mobilitas *Medium Tank*?

- b. Bagaimana interaksi parameter *terrain* dengan parameter kendaraan terhadap mobilitas *Medium Tank*?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis parameter *terrain* dan parameter kendaraan terhadap mobilitas *Medium Tank*
- b. Menganalisis interaksi parameter *terrain* dengan parameter kendaraan terhadap mobilitas *Medium Tank*

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Aspek Teoritis

Manfaat penelitian dari aspek teoritis yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu, memberikan referensi tentang analisis dan eksperimen mobilitas *Medium Tank* berdasarkan interaksi parameter kendaraan dengan parameter *terrain*.

- b. Aspek Praktis

Manfaat penelitian dari aspek praktis ditinjau berdasarkan aspek teoritis pada penelitian ini adalah penelitian ini diharapkan berguna sebagai bahan rekomendasi kementerian pertahanan, industri pertahanan khususnya PT.Pindad, TNI sebagai pengguna, dan akademisi sebagai peneliti untuk pengembangan mobilitas *Medium Tank*.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Konseptual

2.1.1 Ilmu Pertahanan

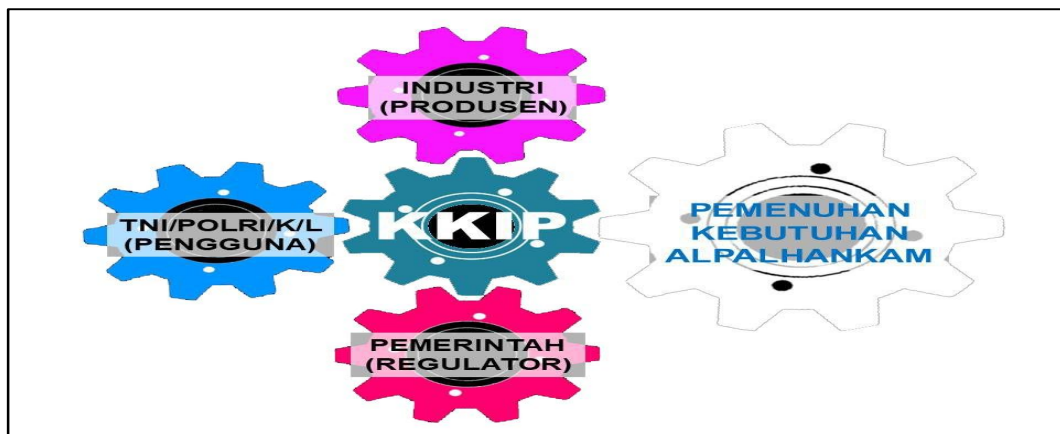
Ilmu Pertahanan dijelaskan dalam syarat – syarat ontologi, epistemologi, dan ontologi (Creswell, 2003). Pertama, tinjauan ontologi ilmu pertahanan adalah ilmu yang mempelajari perilaku negara untuk menjaga dan mengembangkan negara yang berhubungan dengan aspek keamanan dalam skala nasional yang melekat pada tujuan penyelenggaraan negara. Secara filosofis berangkat dari keberadaan suatu entitas yang disebut negara dan kebutuhan untuk mempertahankan diri dari ancaman terhadap negara tersebut. Kebutuhan ini dapat dilihat dari perspektif teknologi. Kedua, tinjauan epistemologi ilmu pertahanan perkembangan ilmu pengetahuan adanya kecenderungan menggunakan multimetode mengingat karakter permasalahan yang kompleks untuk eksistensi negara. Salah satu multimetode yang digunakan adalah Teknologi Pertahanan. Ketiga, tinjauan aksiologi dalam realitanya ilmu pertahanan telah memberi kontribusi terhadap pengembangan kebijakan pertahanan suatu negara, bahkan nilainya dimanfaatkan oleh dunia internasional, bagaimana membangun hubungan antar negara harmonis, dinamis, dan damai dalam bidang teknologi pertahanan (Tippe, 2016).

Teknologi pertahanan adalah gagasan pengembangan ilmu pertahanan yang mengintegrasikan transdisiplin ilmu tertentu antara lain: unik, rumit, holistik, kompleks, serta situasi yang dihadapi penuh ketidakpastian, namun dinamis (Repko, 2011). Teknologi pertahanan implementasinya harus bisa mengurai bahkan meniadakan ancaman

terhadap kedaulatan negara, keutuhan wilayah, dan keselamatan bangsa. Terdapat definisi Teknologi pertahanan yaitu perpaduan sempurna dari seni, sains (natural dan sosial), teknik, ekonomi, dan bisnis yang berlandaskan pertahanan (Appe, 2018). Pemanfaatan teknologi ini menjadi rujukan dalam pembangunan kekuatan pertahanan yang dinamakan konsep *Revolution in Military Affairs* (RMA). Di Indonesia, RMA di definisikan sebagai perubahan dan perkembangan signifikan pada bidang militer, yang diakibatkan oleh pertemuan operasi lapangan dan rekayasa teknologi yang mempengaruhi doktrin, strategi, dan postur pertahanan. RMA telah menjadi perhatian dari Kementerian Pertahanan, karena doktrin, strategi dan postur yang sangat mungkin tidak sesuai dengan perkembangan zaman dan potensi ancaman yang berubah sedemikian cepatnya (Lutfi, 2012). Perubahan ini mendorong Kementerian pertahanan untuk mewujudkannya dengan salah satunya membuat Peraturan Menteri Pertahanan No. 15 Tahun 2009 mengenai Pembinaan Teknologi dan Industri Pertahanan. Fungsi dalam pembinaan Teknologi dan Industri Pertahanan melakukan analisis perkembangan teknologi dan RMA secara terus – menerus, disamping itu untuk memperoleh kemampuan militer yang lebih maju, mendeteksi spektrum ancaman yang lebih luas, mencegah kesenjangan teknologi dan mencapai kemandirian dalam postur pertahanan (Raska, 2011, vol.3).

Analisis Perkembangan RMA dimulai dengan pembinaan teknologi dan industri pertahanan untuk mempermudah koordinasi kebijakan terhadap pengembangan, Pemerintah membentuk Komite Kebijakan Industri Pertahanan (KKIP) yang tertuang dalam Peraturan Presiden No. 42 Tahun 2010 Tentang KKIP. Komite Kebijakan Industri Pertahanan (KKIP) adalah komite yang mewakili Pemerintah untuk mengoordinasikan kebijakan nasional dalam perencanaan, perumusan, pelaksanaan, pengendalian, sinkronisasi, dan evaluasi Industri Pertahanan. Sesuai Undang-Undang

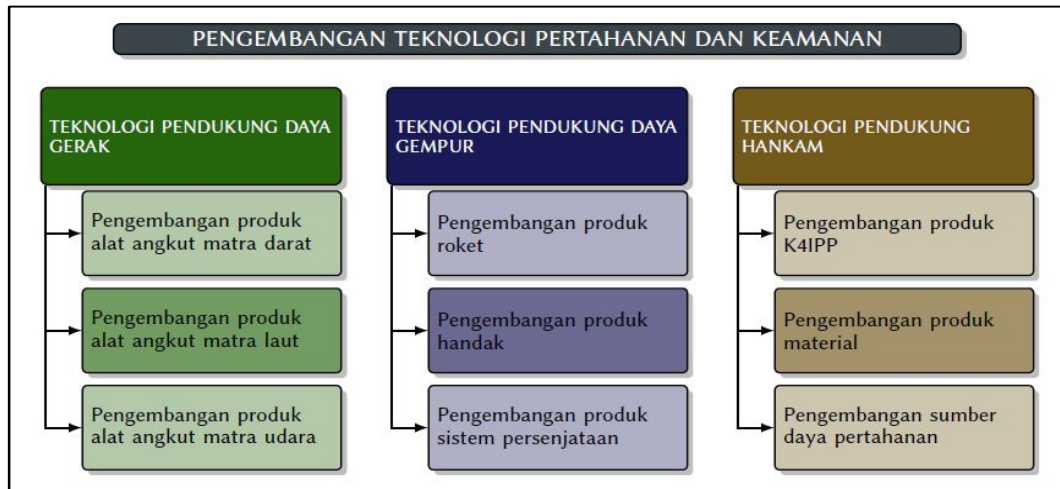
Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan, KKIP memiliki visi mencapai kemandirian pemenuhan kebutuhan alat peralatan pertahanan dan keamanan (alpalhankam), yang didukung oleh Industri Pertahanan yang maju dan sumber daya manusia yang unggul, mengingat Industri Pertahanan Nasional merupakan bagian terpadu dari perencanaan strategis pengelolaan sumber daya nasional untuk kepentingan pertahanan dan keamanan negara. Kehadiran KKIP dan berbagai regulasi mengenai industri pertahanan, akan berperan penting dalam menghasilkan alpalhankam yang berkategori RMA (Lutfi, 2012).



Gambar 2.1 Triple Helix Hubungan Industri Pertahanan

Sumber : <https://kkip.byproweb.co.id/www.kkip/wpcontent/uploads/2018/10/Triple-Helix.jpg>.

Menurut Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (2016) analisis perkembangan teknologi dan RMA, dalam tema dan topik riset fokus pengembangan Teknologi Pertahanan dijelaskan pada gambar 2.2. Kemudian tema dan topik riset yang diintegrasikan untuk tiap tema riset tertentu, ditunjukkan pada tabel 2.1;



Gambar 2.2 Pengembangan Teknologi Pertahanan

Sumber : Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi
 “Rencana Induk Riset Nasional 2015 – 2045” (2016).

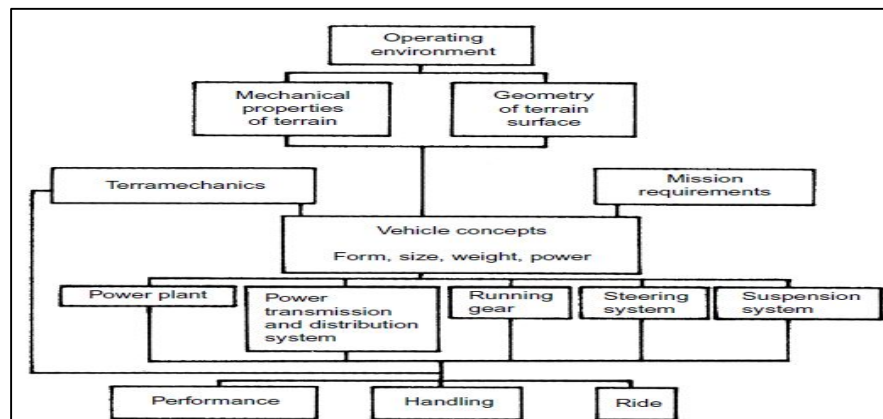
Tabel 2.1 Integrasi Riset Pengembangan Teknologi Pertahanan

TEMA RISET	TOPIK RISET	INSTITUSI TERKAIT	TARGET	KKIP	
Teknologi Pendukung Daya Gerak	Pengembangan produk alat angkut matra darat	• Kemenhan • Kemenperin	• BPPT	KENDARAAN TEMPUR MEDIUM TANK	PENGEMBANGAN MEDIUM TANK
	Pengembangan produk alat angkut matra laut	• Kemenhan • Kemenperin	• LIPI • BPPT	KAPAL PERANG ANTIRADAR	PEMBANGUNAN KAPAL SELAM
	Pengembangan produk alat angkut matra udara	• Kemenhan • Kemenperin	• LAPAN • BPPT	PESAWAT TANPA AWAK JANGKAUAN >200KM	PENGEMBANGAN JET TEMPUR IFX/KFX
Teknologi Pendukung Daya Gempur	Pengembangan produk roket	• Kemenhan • Kemenperin	• LAPAN • BPPT	ROKET KENDALI/RUDAL >60KM	PENGEMBANGAN ROKET NASIONAL
	Pengembangan produk handak	• Kemenhan • Kemenperin	• BPPT	SMART-BOMB	PENGEMBANGAN RUDAL NASIONAL
	Pengembangan produk sistem persenjataan	• Kemenhan • Kemenperin	• BPPT	SISTEM KENDALI TEMBAK	PENGEMBANGAN PROPELAN
Teknologi Pendukung Hankam	Pengembangan produk k4ipp, terutama radar, Alat komunikasi dan satelit	• Kemenhan • Kominfo • Kemenperin	• LIPI • BPPT • LAPAN	PROTOTIPE SATELIT MIKRO RADAR PERTAHANAN	PENGEMBANGAN RADAR GCI
	Pengembangan produk material	• Kemenhan • Bppt • Kemenperin	• BATAN • LAPAN	MATERIAL KHUSUS ALUTSISTA, MATERIAL COATING ANTIRADAR	
	Pengembangan sumber daya pertahanan	• Kemenhan • Kemenperin	• LAPAN • BPPT	TEKNOLOGI PENGEMBANGAN ENERGI DAN PENYEDIAAN AIR BAKU MINUM UNTUK Mendukung OPERASIONAL	

Sumber : Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi
 “Rencana Induk Riset Nasional 2015 – 2045” (2016)

Integrasi riset pengembangan teknologi pertahanan dijabarkan lebih lanjut mulai dari tema riset teknologi pendukung daya gerak, dengan topik riset pengembangan produk alat angkut matra darat dengan target kendaraan tempur *Medium Tank*. Pembahasan ini dijelaskan dalam terramekanik.

Terramekanik adalah salah satu bentuk membahas tentang kendaraan darat khususnya tentang mobilitas. Pertama, akan mencakup dasar-dasar kinerja kendaraan militer dengan memperkenalkan sistem kendaraan yang menyediakan tenaga penggeraknya dan dirancang untuk menguji dinamika kendaraan militer. Memberikan studi komprehensif pada tingkat yang mudah diasimilasi yang memiliki latar belakang dalam sains atau teknik. Jenis tanah, interaksi kendaraan – tanah, *driveline* – kendaraan roda, *gearbox* – manual/otomatis, transmisi kendaraan *track*, mesin untuk kendaraan militer, dan performa kendaraan. Kedua, memberikan pemahaman yang lebih dalam untuk memungkinkan melakukan evaluasi dan penilaian kritis kendaraan serta diskusi tentang kendaraan dan juga memungkinkan untuk menganalisis dampak perubahan desain pada kinerja akhir, prediksi kinerja kendaraan, aksesibilitas *terrain* dan kinerja lintasan, rasio gigi dan pencocokan transmisi, kinerja peluncuran, kopling dan konverter torsi, teknologi hibrida untuk kendaraan militer, simulasi kendaraan, desain *trade-off*. Penerapan terramekanika untuk evaluasi sistem *terrain – vehicle* dijelaskan oleh Sohne pada gambar berikut;



Gambar 2.3 Penerapan Terramekanik

Sumber: Sohne, W. *Terramechanics and its influence on the concepts of tractors, tractor powerdevelopment, and energy consumption*. Journal of Terramechanics, 13(1), 27–43 (1976).

2.1.2 Industri Pertahanan

Pemenuhan pertahanan dan keamanan Indonesia di kelompokkan terbagi atas beberapa komponen pertahanan negara. Beberapa komponen pertahanan negara ini dibina untuk mewujudkan komponen kekuatan pertahanan keamanan negara yang terdiri atas komponen utama, cadangan, dan pendukung.



Gambar 2.4 Komponen Pertahanan Negara

Sumber: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.

"Buku Putih Pertahanan Indonesia" (2015).

Komponen ini kemudian menjelaskan tentang adanya keikutsertaan industri untuk meningkatkan kekuatan dan kemampuan Pertahanan Negara. Industri yang dimaksud adalah industri pertahanan yang merupakan ruang lingkup yang lebih kecil dari industri strategis dan Nasional.

Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan disebutkan Industri Pertahanan adalah industri nasional yang terdiri atas badan usaha milik negara dan badan usaha milik swasta secara sendiri maupun berkelompok yang ditetapkan oleh pemerintah untuk sebagian atau seluruhnya menghasilkan alat peralatan pertahanan dan keamanan, jasa pemeliharaan untuk memenuhi kepentingan strategis di

bidang pertahanan dan keamanan yang berlokasi di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Dilihat dari sejarahnya Industri Pertahanan Nasional dimulai sejak jaman penjajahan Belanda, yang pada awalnya didasari oleh kebutuhan Pemerintah Kolonial Belanda akan sarana pemeliharaan dan perbaikan bagi peralatan perangnya yang digunakan di wilayah penjajahan Hindia Belanda. Namun sejarah mencatat bahwa Industri Pertahanan pada jaman tersebut akhirnya juga diarahkan untuk menghasilkan produk-produk alat peralatan pertahanan dan peralatan pendukungnya, yang meliputi kendaraan tempur darat, kapal perang, pesawat, senjata, peluru dan amunisi (KKIP, n.d). Seiring dengan perjalanan sejarah Indonesia, industri-industri tersebut mengalami pasang surut dalam kegiatan usahanya. Namun pada dekade 80-an Industri Pertahanan Nasional mengalami jaman keemasan ketika seluruh industri tersebut dikonsolidasikan di bawah Badan Pengelola Industri Strategis (BPIS) sesuai Keppres No.59/1989 agar lebih efisien dan kompetitif di pasar global. Namun krisis moneter yang menerpa Indonesia tahun 1987 membuat Industri Pertahanan Nasional rontok.

Dalam upaya untuk mengembalikan kemampuan Industri Pertahanan Nasional dan mengurangi kebergantungan Indonesia akan Alat Peralatan Pertahanan Keamanan (Alpalhankam) buatan luar negeri. menghasilkan Peraturan presiden Nomor 42 tahun 2010 tentang Komite Kebijakan Industri Pertahanan, yang dilanjutkan dengan disahkannya Undang-undang Nomor 16 tahun 2012 tentang Industri Pertahanan, dan produk-produk perundang-undangan lainnya. Penerapan Undang-undang Nomor 16 tahun 2012 dan peraturan perundang – undangan terkait lainnya secara konsisten maka cita – cita untuk memiliki Industri Pertahanan yang maju, kuat, mandiri dan berdaya saing akan dapat terwujud, yang pada akhirnya akan bermuara pada terwujudnya kemandirian pemenuhan kebutuhan Alpalhankam yang sesuai

dengan yang dipersyaratkan oleh TNI, Polri dan Kemeterian/Lembaga lainnya (KKIP, n.d). Berikut adalah gambar tentang masterplan Industri Pertahanan.



Gambar 2.5 Masterplan Pengembangan Industri Pertahanan

Sumber: Renstra progres PT. Pindad

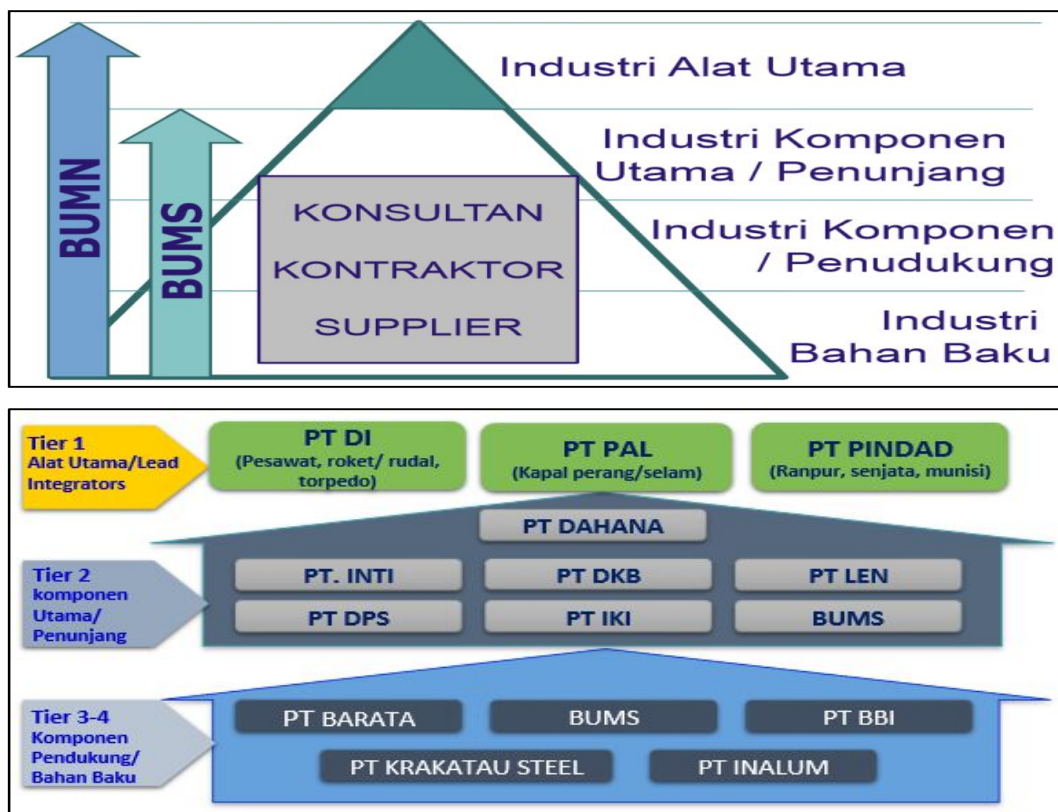
Bentuk izin industri pertahanan dibagi berdasarkan kategori industri, yaitu industri alat utama, komponen utama atau penunjang, komponen atau pendukung (perbekalan), bahan baku.

Tabel 2.2 Level Industri Pertahanan Indonesia

No	Bidang Usaha	KBLI	Persyaratan
166	Industri Bahan Baku Untuk Bahan Peledak	20114	a. Penanaman Modal Asing Maksimal 49%, dengan 51% untuk BUMN b. Rekomendasi dari Kementerian Pertahanan
167	Industri Komponen Utama dan/atau Penunjang	20292	a. Penanaman Modal Asing Maksimal 49%, dengan 51% untuk BUMN b. Rekomendasi dari Kementerian Pertahanan
168	Industri Komponen dan/atau Pendukung (Perbekalan)	20292	a. Penanaman Modal Asing Maksimal 49%, dengan 51% untuk BUMN b. Rekomendasi dari Kementerian Pertahanan
169	Industri Alat Utama	25200 25934 30300 30400	a. Modal dalam negeri 100% b. Rekomendasi dari Kementerian Pertahanan

Sumber: Peraturan Presiden Nomor 44 Tahun 2016

Untuk produksi Alpalhankam, PT Pindad, PT. PAL, dan PT DI ditetapkan sebagai penanggung jawab sistem integrasi (lead integrator) untuk program nasional dengan BUMNIS yang lain sebagai pendukung pada Industri Bahan Baku, Industri Komponen Utama, Industri Komponen Pendukung, dan Industri Alat Utama. Berikut adalah pengelompokan Industri Pertahanan Nasional.



Gambar 2.6 Pengelompokan Industri Pertahanan

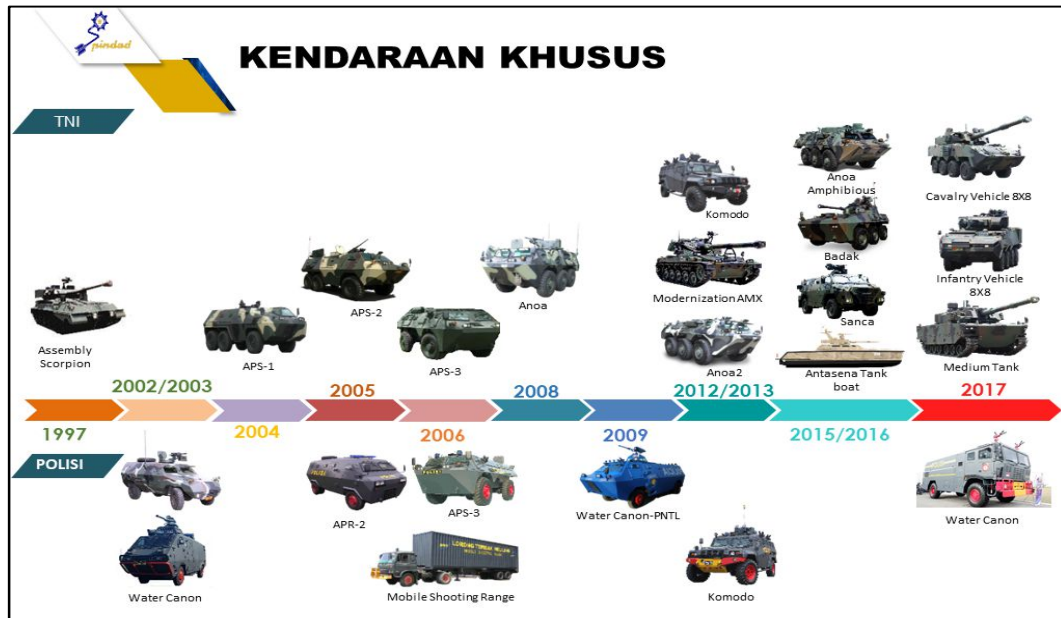
Sumber: Rencana Strategi PT. Pindad

Industri alat utama sebagaimana dimaksud merupakan badan usaha milik negara yang ditetapkan oleh Pemerintah sebagai pemadu utama (lead integrator) yang menghasilkan alat utama sistem senjata dan/atau mengintegrasikan semua komponen utama, komponen, dan bahan baku

menjadi alat utama (Haryono, 2017). PT. Pindad merupakan Industri komponen utama dan/atau penunjang merupakan badan usaha milik negara yang memproduksi komponen utama dan/atau mengintegrasikan komponen atau suku cadang dengan bahan baku menjadi komponen utama Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan dan/atau *platform* sistem alat utama sistem senjata.

Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan disebutkan PT. Pindad adalah Industri Pertahanan Alat utama yang melakukan perencanaan dan pengembangan strategis pembangunan kekuatan pertahanan dan keamanan. Perencanaan dan pengembangan ini yang berkaitan dengan peningkatan kemampuan dan penguasaan teknologi melalui penelitian dan pengembangan serta perekayasaan dalam penyiapan kemampuan produksi yang bernilai strategis khususnya kendaraan tempur berupa *Medium Tank*.

Untuk mewujudkan pencapaian sasaran pembangunan bidang pertahanan dan keamanan tahun 2015-2019, maka strategi kebijakan pembangunan bidang pertahanan dan keamanan yang dilakukan adalah strategi kebijakan pembangunan untuk mencapai sasaran terpenuhinya Alpalhankam (*Business field and business development*, n.d). PT Pindad mulai masuk pada pengembangan teknologi kendaraan bermotor pada tahun 1993 melalui program Mobil Nasional. Pindad telah bekerja sama dengan berbagai pihak baik dalam maupun luar negeri dalam upaya untuk mengembangkan teknologi fungsi kendaraan khususnya kendaraan tempur untuk memenuhi kebutuhan Alpalhankam. Produk-produk kendaraan tempur yang dihasilkan, diantaranya : Kendaraan Taktis 4x4 "KOMODO" dan Panser 6x6 "ANOA" yang telah diproduksi lebih dari 300 unit dengan berbagai varian serta ikut dalam misi perdamaian dunia PBB di berbagai Negara seperti Lebanon, Afrika Tengah, dan Sudan (*Special vehicle*, n.d).



Gambar 2.7 Pengembangan Produk Kendaraan Khusus / Kendaraan Tempur PT. Pindad.

Sumber: Rencana Strategi PT. Pindad

Penelitian dan pengembangan terus menerus dilakukan untuk mencapai tujuan masa depan untuk meningkatkan kapasitas bisnis dan teknologi. Produk penelitian dan pengembangan terbaru yang dilakukan oleh Pindad adalah produk *Medium Tank* yang bekerjasama dengan FNSS (Turki) serta didukung oleh Kementerian Pertahanan RI. *Medium Tank* Kanon 105 mm adalah kendaraan tempur produk terbaru dari PT Pindad (Persero) yang didukung oleh Kementerian Pertahanan RI sesuai kebutuhan Tentara Nasional Indonesia (TNI). Kendaraan ini dilengkapi dengan two-man turret kaiber 105 mm serta senapan mesin kaliber 7,62 mm untuk daya gempur maksimum. *Medium Tank* didesain khusus untuk daerah operasi tropis seperti hutan karena memiliki bobot kurang dari Main Battle Tank (*Medium Tank Pindad*, n.d).

2.1.3 *Medium Tank*

Tank adalah kendaraan *track* lapis baja yang membawa persenjataan berat dengan lintasan datar. Dengan kata lain, kendaraan yang mengkombinasikan *tracks*, *armour* dan *weaponry*, tetapi jika kita melepas salah satu dari ketiga komponennya, kendaraan tempur ini tidak lagi menjadi tank. Kendaraan tempur lapis baja *non – track* yang membawa persenjataan berat dengan lintasan datar, misalnya, disebut sebagai *mobile gun system* (MGS). Demikian pula, itu akan digambarkan sebagai *armoured personnel carrier* (APC) jika tidak memiliki senjata, atau *tank hunter* jika tidak memiliki *armour*. Selanjutnya, jika sistem senjata diubah dari lintasan datar (menembak dengan pandangan target) menjadi lintasan tinggi (menembak tanpa melihat target), kendaraan tempur akan menjadi *self – propelled howitzer* daripada tank.

Menurut Kyle (2016), perbedaan kategori tank ini dibedakan oleh ukuran senjata dan berat kendaraan. Dilihat dari fungsi ketiga kategori tank tersebut yaitu MBT digunakan untuk melawan bunker dan benteng. *Medium Tank* adalah tank yang paling sering digunakan atau sebagai andalan untuk pertempuran karena memiliki kekuatan yang paling bagus untuk kompromi menengah antara senjata, perlindungan, dan mobilitas. Sedangkan Tank ringan (*light Tank*) digunakan untuk sebagai pemandu dan dimanfaatkan sebagai terobosan dalam menangani infanteri dan kendaraan lapis baja ringan. Perbedaan dari ketiga kategori tank adalah sebagai berikut:

- a. *Main Battle Tank* (MBT) merupakan jenis kendaraan tempur Penggempur yang memiliki klasifikasi kelas berat (*Heavy Tank*) atau kelas Medium (*Medium Tank*) dengan kapabilitas menghasilkan daya kejut, daya tembak dan daya gempur yang dasyat.

- b. *Medium Tank* (Tank Kelas Sedang) merupakan Kendaraan tempur Penggempur (Main Battle Tank) dengan klasifikasi kelas Medium (*Medium Tank*) dengan berat Kendaraan tempur antara 15 – 40 ton, dipersenjatai Kanon kaliber 90 mm atau 100 mm atau 105mm, memiliki sistem perlindungan yang tangguh, serta dilengkapi dengan sistem komunikasi, sistem navigasi dan sistem Komando pengendalian (BMS) sehingga menghasilkan daya kejut, daya tembak dan daya gempur yang dahsyat.
- c. *Light Tank* (Tank Kelas Ringan) adalah Kendaraan tempur fungsi Pengamanan atau Angkut Personel atau Logistik/Administrasi dengan klasifikasi kelas ringan (*Light Tank*) dengan berat Kendaraan tempur maksimal 15 ton, dipersenjatai dengan senjata Senapan Mesin Sedang (SMS) atau Senapan Mesin Besar (BMS) atau Kanon kaliber kecil (maksimal kanon 30 mm), serta dilengkapi dengan sistem komunikasi sistem navigasi dan sistem Komando pengendalian (BMS) sehingga memiliki kecepatan dan kelincahan (Kodiklat TNI AD, 2013).

MBT memiliki peningkatan daya tembak dan efisiensi rudal antitank, serta peningkatan pemanfaatan ranjau darat dan perangkat peledak yang diimprovisasi, telah menyebabkan peningkatan tingkat perlindungan MBT, dan karenanya bobotnya yang begitu berat. MBT modern berperforma jauh lebih buruk daripada MBT terdahulu pada saat perang dunia pada *soft terrain*, dan menghadapi masalah khususnya di daerah dengan infrastruktur yang tidak memadai. Sehingga MBT terlalu berat untuk didukung oleh beberapa jembatan. Jika MBT dibandingkan dengan *Medium Tank*, MBT lebih cocok digunakan untuk pertahanan dibanding penyerangan karena *Medium Tank* lebih cocok untuk mendampingi infantri untuk menjelajah

medan operasi, akan dipandang sebagai Tank yang harus dilumpuhkan pertama dibanding Medium atau Light Tank.

Keuntungan dari *Medium Tank* dibanding MBT adalah mobilitas tinggi. Pentingnya bergerak cepat dan mengubah posisi di zona pertempuran telah terbukti sepanjang perjalanan sejarah. Manuver *Crescent* atau *Turan*, salah satu taktik perang Turki tertua, atau doktrin *blitzkrieg* Jerman dari Perang Dunia II adalah beberapa contoh strategi yang paling dikenal, yang keduanya dibangun di atas unit-unit yang dapat bergerak cepat dan mengubah posisi dengan cepat di lapangan. Mempertimbangkan hal – hal ini, bahwa kebutuhan untuk *Medium Tank* yang menjembatani kesenjangan antara Light Tank dan MBT meningkat. Respons yang paling layak terhadap kebutuhan medan perang modern dan sifat teknisnya memenuhi harapan.

Medium Tank menggunakan *double pin track* yang sekarang menjadi fitur standar pada kendaraan *track* modern dalam kategori beratnya. *Medium Tank* memiliki sistem pendingin yang kuat yang dilengkapi dengan perangkat lunak khusus, yang memastikan bahwa bagian panas yang dihasilkan oleh mesin kendaraan dapat hilang. *Medium Tank* juga memiliki sistem suspensi *torsion bar*. Mempertimbangkan iklim tropis Asia Tenggara, *Medium Tank* akan selangkah lebih maju dari yang dirancang untuk kondisi iklim yang lebih umum dalam hal kinerjanya. Alasan untuk ini adalah bahwa mesin diesel atau turbin pada tank modern adalah mesin yang mengubah energi panas menjadi gerakan, dan mesin ini menghasilkan output maksimum ketika beroperasi pada kisaran suhu tertentu. Ketika suhu internal mesin melewati level tertentu, outputnya turun dan mesin mungkin mengalami kerusakan. Sistem pendingin memastikan bahwa panas berlebih di dalam engine dihilangkan, artinya sistem pendinginan yang efektif akan membuat perbedaan yang signifikan ketika suhu udara tinggi dan lebih sulit untuk menghilangkan panas dari mesin. Sehingga akan adil untuk mengatakan bahwa *Medium Tank* akan

memastikan kinerja mesin yang efektif bahkan di daerah geografis dengan lingkungan operasional yang berbeda (*analysis Kaplan mt poised.....*, n.d).

2.1.4 Pengembangan *Medium Tank* PT. Pindad

Pelaksanaan program *Medium Tank* merupakan program jangka panjang dalam membangun penguasaan teknologi menuju kemandirian alutsista dalam negeri. Melalui program kerja sama pengembangan *Medium Tank* dengan FNSS Turki, PT. Pindad mendapatkan pengetahuan, pengalaman, dan referensi standar internasional mengenai pengembangan tank yang dapat diimplementasikan pada industri pertahanan di Indonesia. Berikut kerjasama yang dilakukan yaitu:

a. Kerjasama Negara antar Negara (Indonesia – Turki)

Kerjasama yang dilakukan oleh Pemerintah Negara Indonesia dan Pemerintah Negara Turki dengan penandatanganan berbagai perjanjian kerjasama sebagai berikut:

- 1) *Agreement on Defense Industry Cooperation Between The Government of The Republic of Indonesia and The Government of Turkey* (Juni 2010, Ankara)
- 2) *Protocol for Defense Industry Cooperation Between Indonesia and Turkey* (April 2011, Jakarta)
- 3) *Meeting on Defense Industry Cooperation Between Indonesia and Turkey; Joint prepare and submit a proposal on Joint Medium Tank Development* (Mei 2013, IDEF Istanbul)
- 4) *Mou between The Indonesia Government and The Turkey Governtment to jointly develop and produce a Medium Tank protopye* (November 2014, Jakarta)

b. Kerjasama perusahaan antar perusahaan (PINDAD – FNSS)

Kerjasama yang dilakukan oleh perusahaan Indonesia PT. Pindad (Persero) dan Perusahaan Turki FNSS dengan penandatanganan berbagai perjanjian kerjasama sebagai berikut:

- 1) *MoU between* PT. Pindad and FNSS (Januari 2011, Jakarta)
- 2) *Partnership and Cooperation Agreement* Pindad – FNSS (Februari 2014, Jakarta)
- 3) *Joint Proposal for Medium Tank Development Project* (Februari 2014, Jakarta)

c. Prioritas utama adalah kebutuhan akan Alpalhankam pertahanan. Dalam sistem pertahanan negara, kendaraan tempur darat berbasis tank merupakan andalan utama di medan pertempuran darat karena mampu melintas pada hutan, gunung, maupun pantai dengan medan berat (*off road*), terjal, ekstrim, berpasir, berbatu, rawa, sehingga untuk mencapai target sasaran dapat dilakukan dengan mudah.

d. Kondisi Tank Kanon yang saat ini digunakan di Indonesia sudah terlalu tua dan kapabilitas tempurnya sudah menurun sehingga diperlukan Tank pengganti.

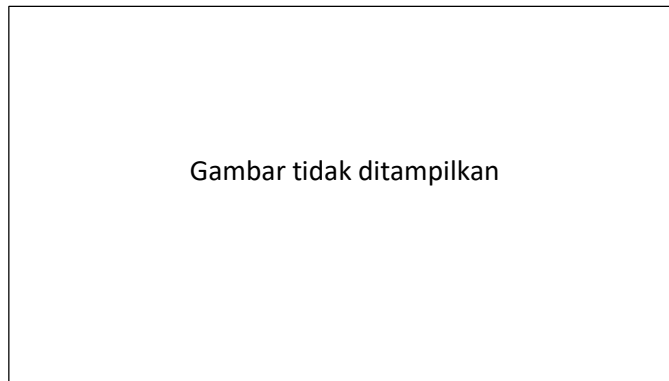
e. Indonesia belum memiliki *Medium Tank* yang dilengkapi kanon kaliber 105 mm yang berfungsi sebagai penggempur.

Kerjasama pengembangan *Medium Tank* antara PT. Pindad dan FNSS, meliputi *training*, desain, *prototyping*, pengujian, dan *technical assistance*. Tujuan pengembangan ini menghasilkan prototipe kendaraan tempur satuan Kavaleri TNI AD yang ideal berupa kendaraan beroda rantai yang dilengkapi senjata khusus kanon kaliber 105 mm sesuai fungsi utama satuan Kavaleri, yaitu sebagai fungsi penggempur dan fungsi pengaman.

Proses pengembangan *Medium Tank* diawali dengan Desain Produk, Desain Struktur, Sistem Otomotif, *Software Analisis*, dan Sistem Elektrikal.

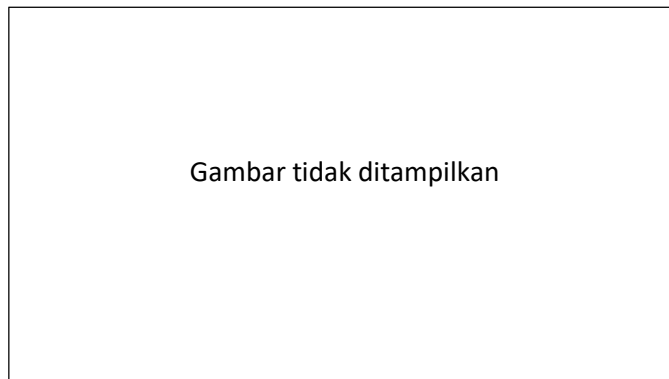
a. Desain Produksi

Desain produk bertugas membuat konsep desain yang akan dipakai, menerjemahkan kriteria dan spekter dari kebutuhan pengguna menjadi sebuah konsep desain yang sesuai dan menjawab kebutuhan pengguna, sehingga konsep desain yang akan menjadi acuan dari keseluruhan proses. Berikut gambar 2.8 dan 2.9 menerangkan tampilan dan komponen *Medium Tank*;



Gambar 2.8 Tampilan *Medium Tank*

Sumber: Tidak ditampilkan

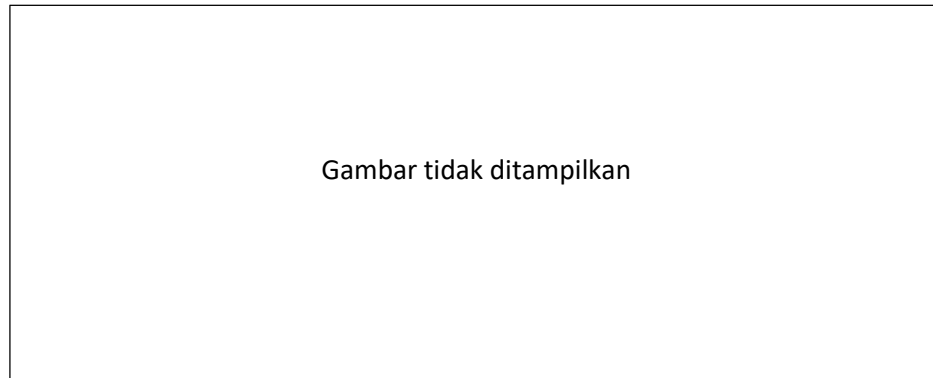


Gambar 2.9 Tampilan Komponen Kemudi

Sumber: Tidak ditampilkan

b. Desain Struktur

Desain Struktur adalah perancangan Hull desain sebagai sub sistem dari proyek *Medium Tank*. Desain struktur menghubungkan bagian otomotif dan analisa struktur karena dalam proses desain hubungan antar sub – sistem sangat penting. Sebagaimana diatur seluruh proses, prosedur dan hubungan kegiatan desain dan development dapat terdefinisi. Pada gambar 2.10 menerangkan desain struktur *Medium Tank*, berikut adalah gambarannya;

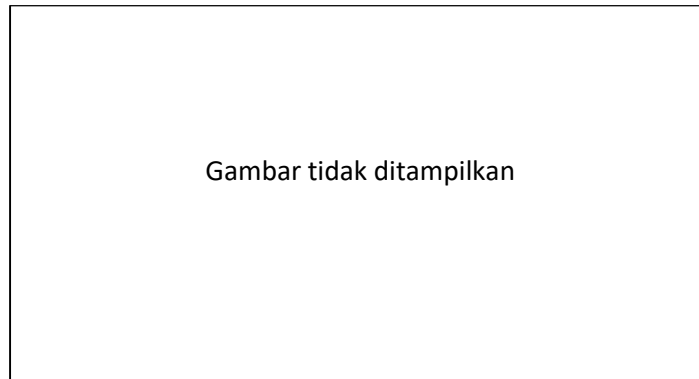


Gambar 2.10 Desain Struktur

Sumber: Tidak ditampilkan

c. Sistem Otomotif

Sistem Otomotif memegang peranan paling penting dan utama pada *Medium Tank*, disamping itu pula sistem otomotif sangat menentukan tingkat kualitas dari Tank tersebut karena sistem otomotif berkaitan erat dengan *power* dan *mobility*. Pada gambar 2.11 menerangkan posisi mesin, transmisi, tanki bahan bakar, *cooling pack*, *air filter*, *exhaust*, dan komponen lain *Medium Tank*, berikut adalah gambarannya;



Gambar 2.11 Sistem Otomotif

Sumber: Tidak ditampilkan

Pemilihan pada sistem otomotif pada umumnya merunut pada ketentuan SRS (*Software Requirement Spesification*) yang telah disepakati bersama antara PT. Pindad dan FNSS sebagai dasar acuan analisis tahap awal dan analisis tahap selanjutnya. Dasar acuan pemilihan sistem otomotif yang tertera antara lain:

- 1) Berat *Medium Tank* 35 Ton
- 2) Mampu tanjakan 60%
- 3) Kecepatan maksimum *Medium Tank* 70 Km/jam
- 4) Mampu berputar dan berbelok pada porosnya (Pivot)

d. *Software* Analisis

Software analisis adalah seluruh hasil desain dianalisis terlebih dahulu menggunakan *software*, karena dengan menggunakan *software*, proses development sebuah produk akan menjadi lebih efisien. Kemungkinan error yang akan terjadi juga dapat diantisipasi jika sebelum proses produksi terlebih dahulu dilakukan analisis.

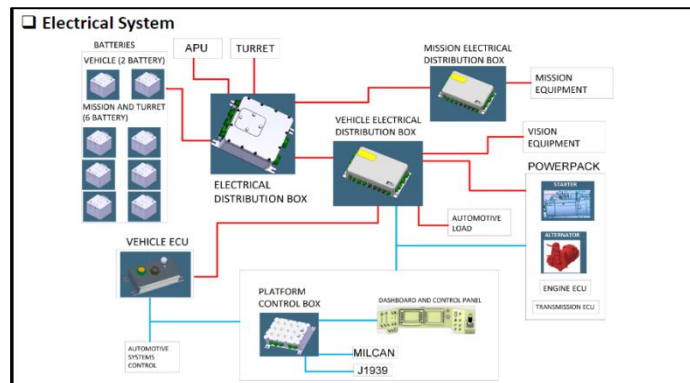
Tabel 2.3 Software Analisis Medium Tank PT. Pindad

License Solid works	PO 4010000678
License Catia	SJAN/22/P/BD/DN/II/2016
License Ansys	SJAN/25/P/BD/DN/XI/2015
Hardware Workstation	PO 4010000702

Sumber: PT. Pindad. Progres Pengembangan *Medium Tank* dan Rencana Tahun Anggaran 2018. Kementerian Pertahanan (2017).

e. Sistem Elektrikal

Sistem Elektrikal bertugas untuk menentukan komponen yang akan dipasang pada *Medium Tank*, dalam menentukan komponen digunakan komponen yang sudah tersedia dan sesuai dengan standar yang ditentukan. Gambar 2.12 menerangkan sistem elektrikal, seperti berikut;



Gambar 2.12 Sistem Elektrikal Medium Tank PT. Pindad

Sumber: PT. Pindad. Progres Pengembangan *Medium Tank* dan Rencana Tahun Anggaran 2018. Kementerian Pertahanan (2017).

Khusus untuk penelitian ini sistem otomotif yang akan dibahas terdiri atas beberapa sub sistem diantaranya:

a. *Engine, Transmission, dan Final Drive*

Engine merupakan bagian terpenting untuk mobilitas *Medium Tank*, namun butuh tenaga yang mesar untuk menggerakkan tank

berbobot 30 ton, maka dari itu dibutuhkan tenaga sebesar 700hp yang akan disalurkan ke transmisi 4 gigi, untuk bergerak maju dan disalurkan ke *final drive* yang sesuai untuk melewati berbagai medan di Indonesia. Berikut adalah gambaran *engine*, transmisi dan *final drive* yang digunakan sesuai gambar 2.13;

Gambar tidak ditampilkan

Gambar 2.13 Power Pack

Sumber: Tidak ditampilkan

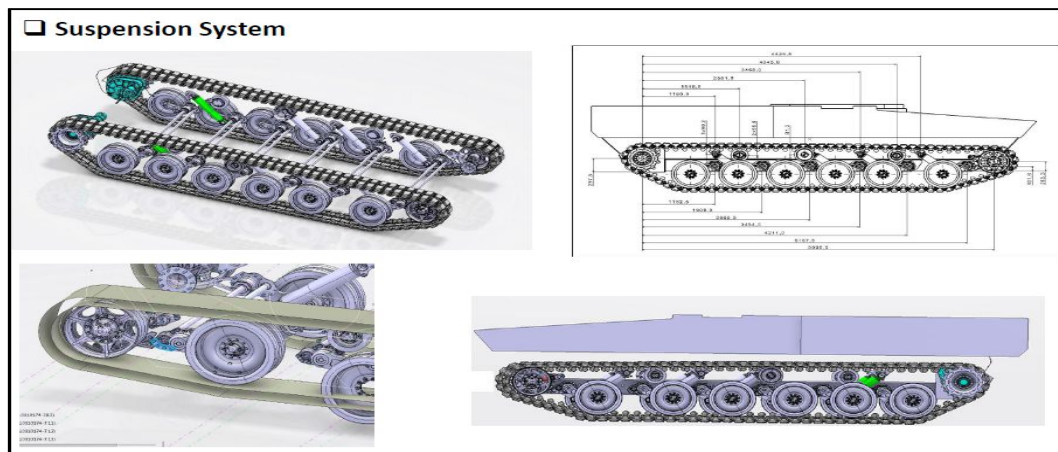


Gambar 2.14 Engine CAT C13 Medium Tank PT. Pindad

Sumber: PT. Pindad. Progres Pengembangan *Medium Tank* dan Rencana Tahun Anggaran 2018. Kementerian Pertahanan (2017).

b. *Track link* dan Sistem Suspensi

Sistem Suspensi dan *Track* dirancang untuk dapat memaksimalkan performa dari tank di medan Indonesia, dimana tank ini akan dilengkapi dengan sistem *double pin track link*. Pada gambar 2.15 menerangkan sistem suspensi dan *track link Medium Tank*, berikut adalah gambarannya;

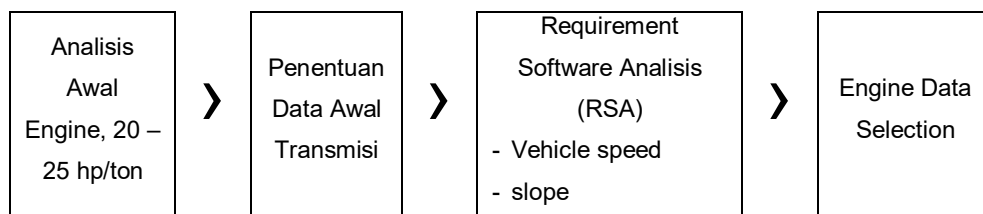


Gambar 2.15 Sistem Suspensi dan *Track Link Medium Tank* PT. Pindad

Sumber: PT. Pindad. Progres Pengembangan *Medium Tank* dan Rencana Tahun Anggaran 2018. Kementerian Pertahanan (2017).

Langkah – langkah dan analisis dalam penentuan sistem otomotif *Medium Tank* PT. Pindad, yaitu:

- a. Tahapan analisis awal ini adalah menentukan aspek *engine* dan transmisi yang akan dipakai sesuai dengan ketentuan SRS.



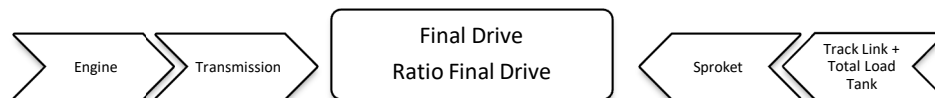
Gambar 2.16 Tahapan untuk penentuan awal *Powerpack*

Sumber: PT. Pindad. Rancang Bangun (*Technology Development Medium Tank*), Analisis Statis Dengan Menggunakan Software (2015).

b. Menganalisis dan menghitung *Total Resistance* dan membandingkan hasil analisis pemilihan *Power Pack Medium Tank*.

c. Tahapan Penentuan *Final Drive*

Tahapan ini adalah menentukan ratio dari *Final Drive* dimana jika beberapa variable sub sistem lain telah terdefinisi (*Engine*, *Transmisi*, *Track link*, *Sproket*) maka perlu diperhitungkan ratio penentuan *Final Drive*. Sesuai dengan penentuan urutan pengambilan keputusan dan Analisis seperti tertera diatas maka jika keempat faktor tersebut (*Engine*, *Transmisi*, *Sproket*, dan *Track link + Total Load Tank*) maka *Gear Ratio* dari *Final Drive* dapat dihitung, dengan mempertimbangkan, kecepatan tidak kurang dari 70 km/h kemampuan Tanjakan 60% (Kemampuan Torsi Kendaraan).



Gambar 2.17 Gambar alur *Final Drive*

Sumber: PT. Pindad. Rancang Bangun (*Technology Development Medium Tank*), Analisis Statis Dengan Menggunakan Software (2015).

d. Tahapan penentuan Sub sistem pendukung

Pada tahapan ini adalah untuk menentukan antara lain, *Air Filter*, Penentuan *Exhaust* dan Penentuan *Cooling Pack*

2.2 Landasan Teori

Analisis Parametrik adalah salah satu metode untuk analisis kinerja sistem *track*. Analisisnya menjelaskan perilaku *terrain*, karakteristik respon *terrain* terhadap beban normal dan *repetitive loading*, karakteristik perilaku *shearing* pada *terrain*, performa kendaraan *track*, dan metode evaluasi kendaraan *track*.

2.2.1 Struktur Tanah

Semua tanah terdiri dari partikel dan rongga di antara partikelnya. Rongga dapat diisi air saja atau sedikit udara dan sedikit air. Sifat – sifat tanah tergantung pada sifat partikel, ukuran dan isi rongga. Isi rongga sering berubah, sehingga sangat mengubah sifat – sifat tanah. Misalnya, tanah yang dibajak akan memiliki rongga yang jauh lebih besar daripada tanah yang tidak terganggu. Jumlah air di dalam tanah juga akan sangat bervariasi antara musim dingin dan musim panas, atau antara musim kering dan basah, dan setiap setelah hujan. Hanya itu saja mungkin untuk menentukan properti seperti kekuatan tanah dalam kondisi tertentu. Tanah, selain tanah organik, diklasifikasikan dan diberi nama sesuai dengan ukuran yang dominan partikel yang dikandungnya. Jenis tanah yang paling umum tercantum di bawah ini dengan predominannya ukuran partikel:

Tanah Liat	ukuran butiran (<0,002 mm)
Lanau	ukuran butiran (0,002 - 0,06 mm) A
Pasir	ukuran butiran (0,06 - 2 mm)
Kerikil	ukuran butiran (> 2 mm)

Pada *Terramechanics soil* diklasifikasikan sebagai, Tanah berbutir halus, biasanya disebut "tanah liat" tetapi termasuk lumpur (<0,06 mm), Tanah berbutir kasar, biasanya disebut "pasir" tetapi termasuk kerikil (> 0,06 mm). Banyak tanah, tentu saja, merupakan campuran keduanya, tetapi dapat

ditempatkan secara sewenang-wenang menjadi satu atau lainnya kategori menurut apakah lebih atau kurang dari 35% akan melalui saringan 60 μm . Lumpur atau konten lempung lebih dari 35% membuat tanah berperilaku sebagai tanah berbutir halus.

2.2.2 Perilaku *Terrain*

Pemahaman tentang perilaku *terrain* di bawah muatan kendaraan sangat penting khususnya interaksi *vehicle – terrain*. Berbagai pendekatan untuk memodelkan perilaku *terrain* yang ditinjau.

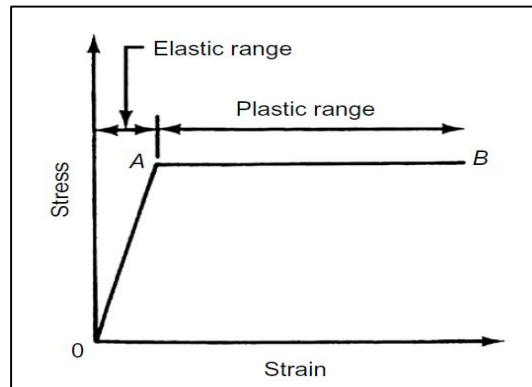
2.2.2.1 *Terrain* Sebagai Medium Elastis

Idealisasi *terrain* sebagai medium elastis, bersama dengan teori klasik elastisitas, telah digunakan dalam prediksi distribusi tegangan di *terrain* dan dalam penilaian pengaruh *vehicle traffic* pada *compaction* tanah atau *terrain damage*.

Prediksi distribusi tegangan dalam medium semi – *infinite elastic* tunduk pada bentuk apa pun pemuatan pada permukaannya mungkin didasarkan pada subjek pada beban titik. Untuk yang homogen, isotropik, media elastis dikenakan beban titik pada permukaan, distribusi tegangan di medium dapat diprediksi menggunakan persamaan Boussinesq. Ekspresi untuk vertikal tegangan σ_z pada titik di medium bawah permukaan yang ditentukan oleh koordinat yang ditunjukkan pada Gambar 2.23 diberikan di bawah ini;

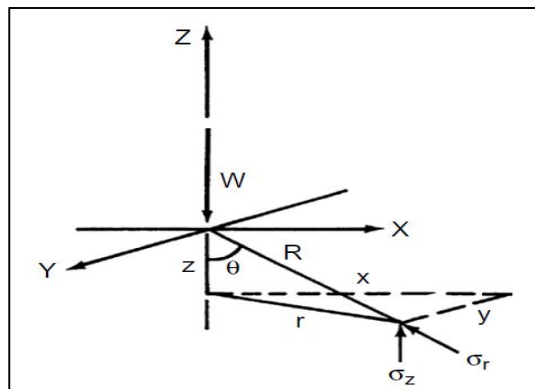
$$\sigma_z = \frac{3W}{2\pi R^2} \cos^3 \theta$$

Dimana $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ dan $R = \sqrt{z^2 + r^2}$



Gambar 2.18 Hubungan tegangan-regangan dari bahan elastoplastik yang ideal

Sumber: Wong, J. Y. Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).



Gambar 2.19 Tegangan dalam semi – *infinite elastic* medium pada beban titik di permukaan

Sumber: Wong, J. Y. Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

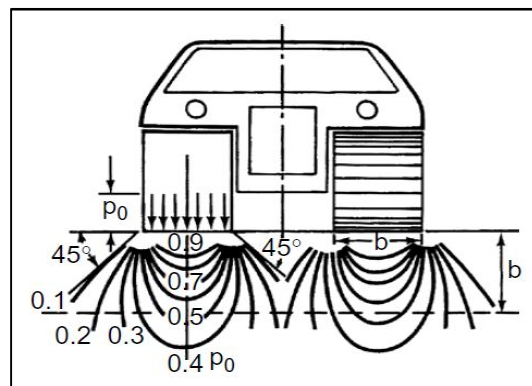
Ketika koordinat polar digunakan, tegangan radial σ_r (Gambar 2.19) dijelaskan sebagai berikut;

$$\sigma_r = \frac{3W}{2\pi R^2} \cos \theta$$

Harus ditunjukkan bahwa dengan memodelkan *terrain* sebagai media elastis dan dengan mengaplikasikan teori elastisitas untuk memprediksi distribusi tegangan pada *terrain* hanya menghasilkan perkiraan hasil. Pengukuran telah menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada terrain menyimpang dari yang diprediksi menggunakan persamaan Boussinesq, tergantung pada kondisi terrain (Sohne, 1958). Ada kecenderungan tekanan di medan berkonsentrasi di sekitar poros tengah area pemuatan. Ini menjadi lebih besar seiring dengan meningkatnya kadar air di medan. Berdasarkan pengamatan ini, berbagai faktor semi-empiris (atau parameter) telah diperkenalkan Persamaan Boussinesq, untuk menjelaskan perilaku berbagai jenis medan. Contohnya, Frohlich memperkenalkan faktor konsentrasi ν persamaan Boussinesq, dengan memperkenalkan faktor konsentrasi ν , ekspresi untuk tekanan vertikal dan radial di medan akibat beban titik yang diterapkan pada permukaan menjelaskan bentuk berikut;

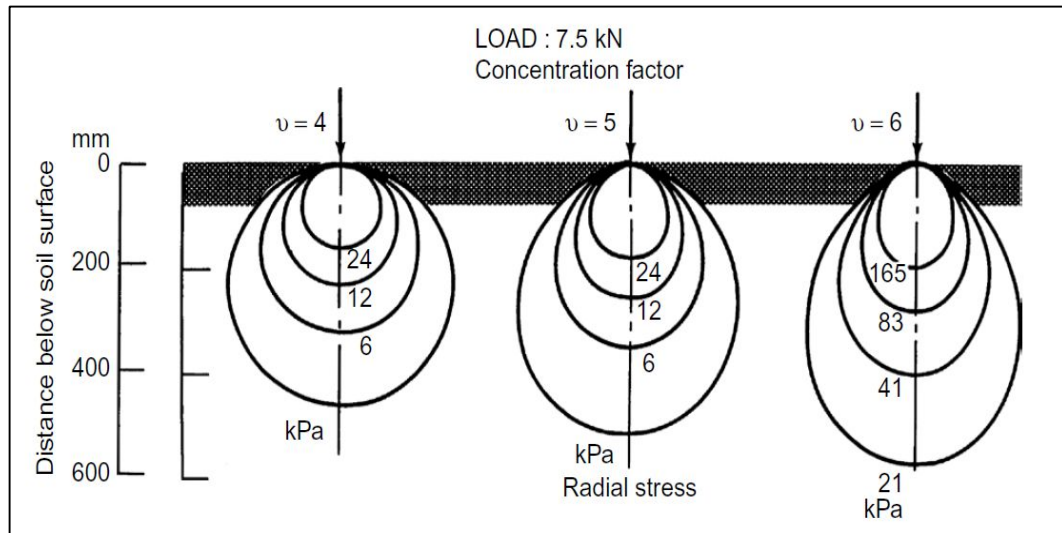
$$\sigma_z = \frac{\nu W}{2\pi z^2} \cos^{\nu+2} \theta$$

$$\sigma_r = \frac{\nu W}{2\pi z^2} \cos^{\nu} \theta$$



Gambar 2.20 Distribusi tegangan vertikal pada medium semi – infinite elastic di bawah kendaraan

Sumber : Bekker, M. G. *Theory of Land Locomotion*. Universitas Michigan Press. Universitas Michigan (1956).



Gambar 2.21 Distribusi tegangan radial di bawah beban titik di tanah yang berbeda faktor konsentrasi

Sumber: Sohne, W. *Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires and 290*. Agricultural Engineering (1958).

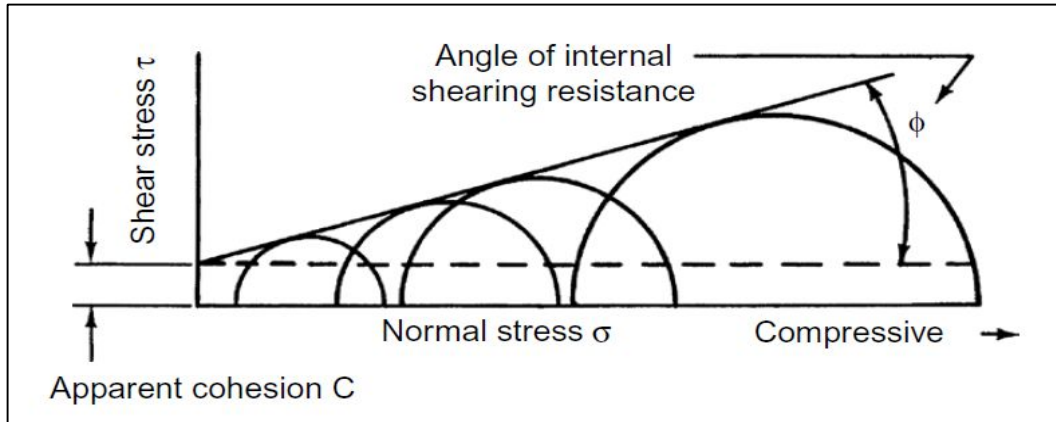
2.2.2.2 Terrain Sebagai Medium Plastik

Sejumlah kriteria telah diusulkan atau dikembangkan untuk mendefinisikan kegagalan tanah atau tipe material *terrain*. Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb adalah salah satu yang paling banyak digunakan. Ini mendalilkan bahwa material pada suatu titik akan gagal jika tegangan geser pada titik itu memenuhi ketentuan berikut:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.1)$$

Dimana τ adalah *shear stress*, c adalah *cohesion*, σ adalah *normal stress shearing surface*, φ adalah *angel internal shearing resistance*.

Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb hanya menyiratkan bahwa jika sebuah lingkaran Mohr mewakili keadaan tekanan pada suatu titik di medan menyentuh garis pembungkus, kegagalan akan terjadi pada saat itu.

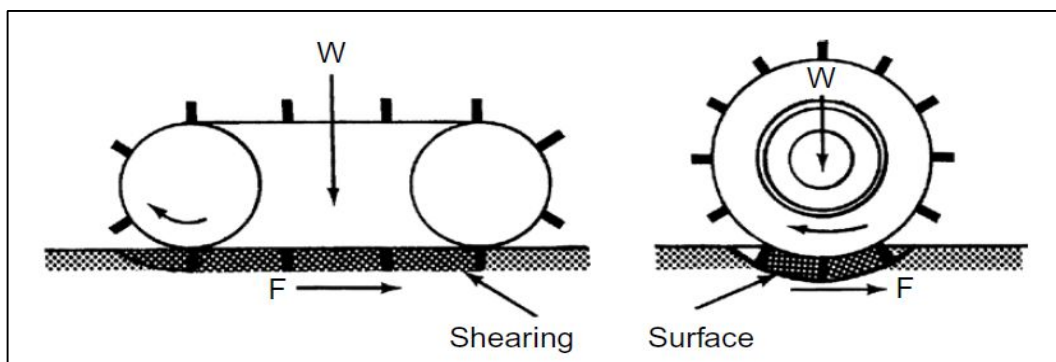


Gambar 2.22 Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb

Sumber: Wong, J.Y. *Theory of Ground Vehicle*. Wiley. 4th Edision (2008).

Daya dorong (*tractive effort*) dari kendaraan yang sedang berjalan, seperti ban atau track, dikembangkan melalui tindakan geser pada *terrain surface*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.28. Persamaan (2.5) dapat diterapkan untuk memperkirakan gaya dorong maksimum yang dapat dikembangkan oleh kendaraan yang berjalan (Micklethwaite, 1944). Misalnya, jika bidang kontak ban atau track diketahui dan tekanan pada patch kontak seragam, maka daya dorong maksimumnya dapat dengan mudah diprediksi dengan persamaan berikut;

$$F_{max} = \tau A = (c + \sigma \tan \phi) A = 2blc + W \tan \phi \quad (2.16)$$



Gambar 2.23 Action geser pada roda dan track

Sumber: Wong, J.Y. *Theory of Ground Vehicle*. Wiley. 4th Edision (2008).

2.2.2.3 Perilaku Terrain Berdasarkan *Critical Stade Soil Mechanics*

Seperti disebutkan sebelumnya, memodelkan tanah sebagai medium elastis atau plastik sempurna pada material *terrain* yang memiliki keterbatasan dalam penerapannya pada banyak masalah *engineering problems*. Mekanika tanah keadaan kritis membangun hubungan antara volume spesifik V , *spherical* tekanan P , dan tegangan *deviatorik* R dari tanah. Volume spesifik V sama dengan $1 + e$, di mana e adalah rasio *void* tanah, yang merupakan rasio dari volume rongga ke volume padatan. Tekanan *spherical* P dan tegangan *deviatorik* R didefinisikan sebagai berikut;

$$P = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sqrt{3}}$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{3}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$$

Dimana σ_1 , σ_2 dan σ_3 adalah prinsip tekanan elemen kubik tanah.

Ada empat asumsi dasar dalam mekanika tanah keadaan kritis:

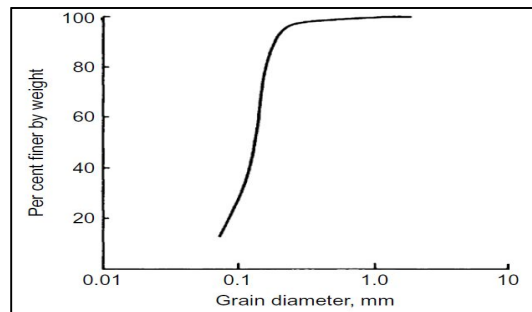
- a. Tanahnya homogen dan isotropik.
- b. Perilaku mekanika tanah hanya bergantung pada tegangan efektif, yang didefinisikan sebagai perbedaan antara total tegangan dan tekanan air pori (biasanya disebut sebagai tekanan pori). Ada atau tidaknya tekanan pori atau tegangan air tidak berpengaruh kecuali sejauh mereka mengubah tegangan yang efektif.
- c. Perilaku mekanika tanah dapat dijelaskan dengan model makroskopis. Hal ini tidak perlu menghubungkan perilaku tanah dengan sifat-sifat, dan interaksi antara, partikel individu.
- d. Perilaku mekanika tanah tidak tergantung waktu, dan *viscous* tanah

2.2.3 Karakteristik Respon *Terrain* terhadap Beban Normal dan *Repetitive Loading*

Salah satu yang mendasar dalam karakterisasi perilaku *terrain* adalah membangun fungsional hubungan yang secara realistis dapat menggambarkan respon *terrain* terhadap berbagai jenis muatan, seperti hubungan tegangan – regangan, hubungan *Pressure* – *sinkage*, dan hubungan *shear stress* – *shear displacement*.

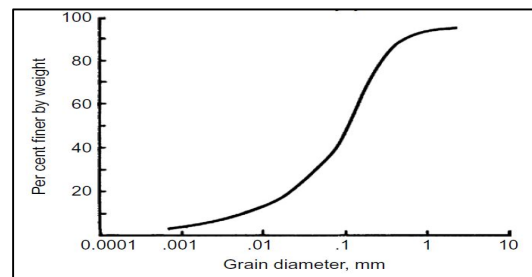
2.2.3.1 Hubungan *Pressure* – *sinkage*

Respon berbagai *mineral terrain* memasukkan pasir, tanah liat dan lempung untuk beban normal dan *repetitive loading*. Distribusi ukuran butir untuk *mineral terrain* ditunjukkan pada gambar 2.28 hingga 2.30.



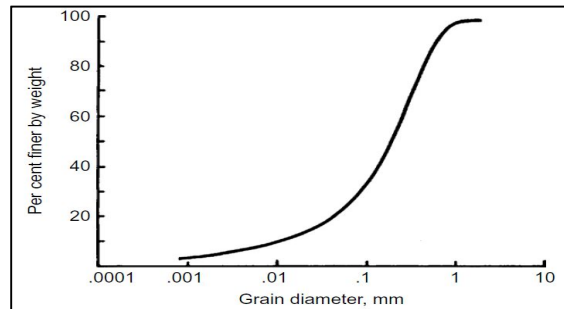
Gambar 2.24 distribusi ukuran butir pasir

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).



Gambar 2.25 distribusi ukuran butir tanah liat

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).



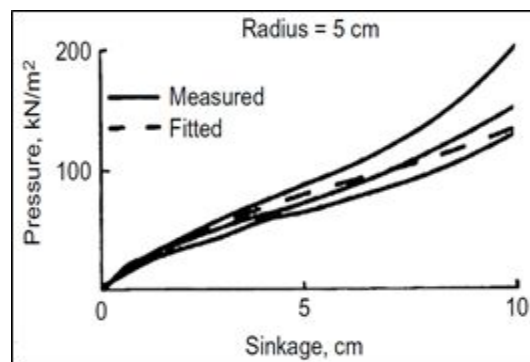
Gambar 2.26 distribusi ukuran butir lempung

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

Hubungan pressure - sinkage untuk *mineral terrain* dijelaskan dengan persamaan yang dikemukakan oleh Beker (1960), sebagai berikut;

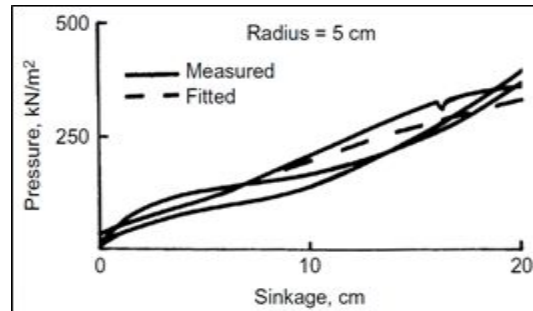
$$p = (k_c/b + k_\phi)z^n = k_{eq}z^n \quad (2.2)$$

Dimana p adalah *pressure*, b adalah *width of tracked*, n adalah *sinkage exponent*, k_c adalah *cohesive modulus of sinkage*, k_ϕ adalah *frictional modulus of sinkage*, dan z adalah *sinkage*. Kumpulan representatif dari kurva pressure – sinkage untuk berbagai jenis *mineral terrain* dijelaskan dan ditunjukkan pada Gambar 2.31 hingga 2.33.



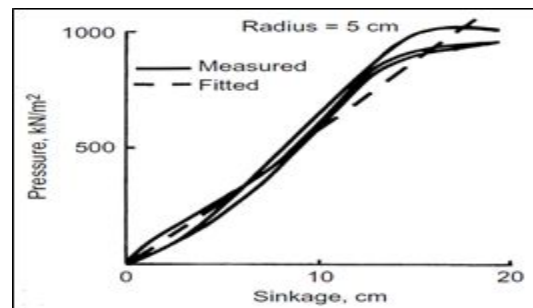
Gambar 2.27 Pressure – sinkage Pasir

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).



Gambar 2.28 Pressure – sinkage Tanah Liat

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).



Gambar 2.29 Pressure – sinkage Lempung

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

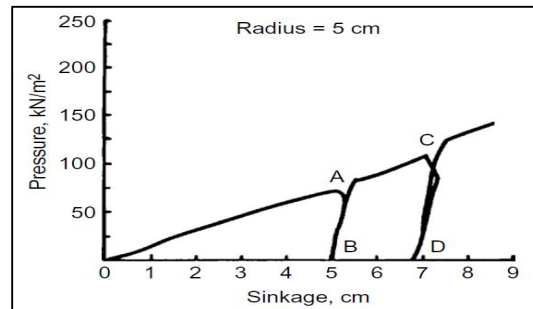
Harus ditekankan bahwa Persamaan (2.9) pada dasarnya adalah persamaan *empiris*. Selanjutnya, parameter k_c dan k_ϕ memiliki dimensi variabel, tergantung pada nilai eksponen n . Dipengaruhi oleh kerja yang sifatnya lebih mendasar dalam mekanika tanah dan bukti eksperimen, Reece (1965) mengusulkan persamaan berikut untuk hubungan *pressure - sinkage* untuk tanah homogen:

$$p = (ck'_c + \gamma_s bk'_\phi)(z/b)^n$$

2.2.3.2 Respon *Terrain* Terhadap *Repetitive Loading*

Saat kendaraan melintas di atas *terrain* yang tidak siap, elemen *terrain* di bawahnya yang berjalan adalah yang pertama tertekan pada beban normal yang diterapkan oleh *tracked*.

Gambar 2.34 menunjukkan respons *mineral terrain* terhadap *repetitive loading* (Wong, 1984). Dapat dilihat bahwa *pressure* awalnya meningkat dengan *sinkage* sepanjang kurva OA. Namun, ketika beban diterapkan ke *terrain* oleh plat dikurangi pada A, hubungan mengikuti garis AB. Ketika beban diterapkan kembali pada B, mengikuti hubungan *pressure* – *sinkage*, lebih atau kurang, jalur yang sama dengan saat *unloading*. Saat diterapkan kembali beban melebihi dari yang di mana siklus *unloading* – *reloading* sebelumnya dimulai (mis. titik A), hasil-hasil penyimpangan tambahan. Dengan peningkatan lebih lanjut dari beban yang sesuai dengan A, hubungan *pressure* – *sinkage* mengikuti kurva *pressure* – *sinkage* asli OAC. Karakteristik selanjutnya siklus *unloading* – *reloading* berikutnya, seperti CD, sangat mirip dengan siklus yang pertama (mis. AB).



Gambar 2.30 Respon dari *repetitive normal load* dari *mineral terrain*

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

Berdasarkan pengamatan yang dijelaskan di atas, respons *mineral terrain* menjadi *repetitive loading* mungkin dapat diidealkan, dan hubungan

pressure – sinkage selama *unloading – reloading*, seperti AB dan BA yang ditunjukkan pada Gambar 2.35, dapat dijelaskan oleh (Wong,1984).

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) z_u^n - k_u(z_u - z)$$

$$p = k_{eq}z_u^n - k_u(z_u - z)$$

$$p = p_u - k_u(z_u - z)$$

di mana p_u dan z_u adalah *pressure* dan *sinkage*, ketika *unloading* dimulai dan k_u adalah parameter *pressure-sinkage* mewakili kemiringan rata-rata dari *unloading – reloading* baris AB.

Ditemukan bahwa kekakuan terrain k_u selama *unloading* atau *reloading* adalah fungsi dari z_u , dimana *sinkage* ketika *unloading* dimulai. Sebagai perkiraan pertama, hubungannya mungkin dijelaskan sebagai berikut;

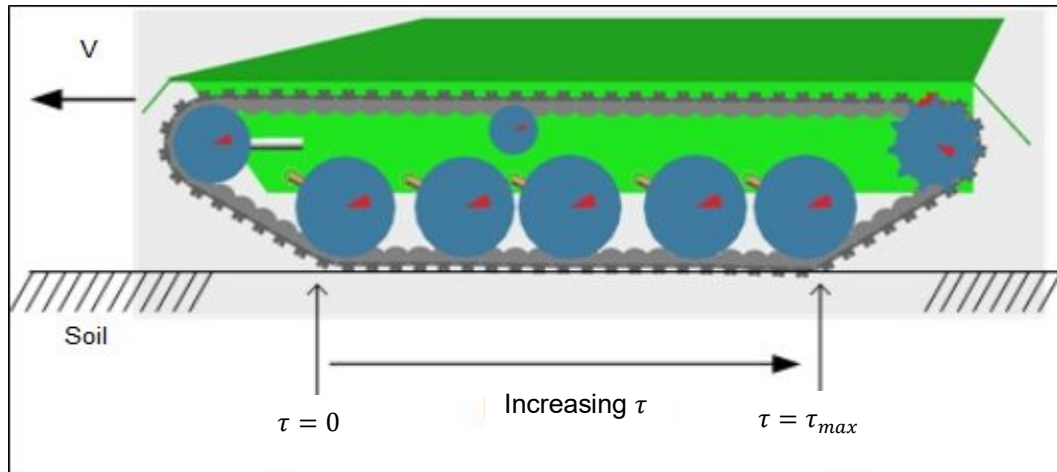
$$k_u = k_o + A_u z_u$$

di mana k_o dan A_u adalah parameter, yang nilainya dapat diturunkan dari data eksperimen.

2.2.4 Karakteristik Hubungan *Shear Stress – Displacement*

Kendaraan menerapkan beban geser ke permukaan *terrain* ketika berjalan, yang menghasilkan peningkatan daya dorong dan slip. Memprediksi kinerja traksi *offroad* kendaraan, sangat penting untuk mengukur hubungan *shear stress – shear displacement* di bawah berbagai tekanan normal dan untuk menentukan kekuatan geser terrain. Penjelasan hasil pengukuran dan karakterisasi perilaku geser berbagai terrain berupa pasir, tanah liat dan lempung.

Pengetahuan tentang hubungan *shear stress – shear displacement* dari terrain sangat penting diketahui untuk memprediksi hubungan daya dorong dan slip dari kendaraan yang berjalan di atas *terrain*. hubungan *shear stress – shear displacement* yang diusulkan Janosi dan Hanamoto (1961).



Gambar 2.31 *Shear displacement* dari perluasan *terrain* dari depan ke belakang kendaraan *tracked*

Sumber: Madsen, J. *et al. Methods For Tracked Vehicle System Modeling And Simulation*. Technical Report 2010 – 01 (2010).

$$\tau/\tau_{max} = (1 - \exp^{-j/K})$$

$$\tau = \tau_{max}(1 - \exp^{-j/K}) \quad (2.3)$$

di mana τ adalah *shear stress*, j adalah *shear displacement*, K biasanya disebut *shear deformation modulus* dan merupakan ukuran besarnya dari *shear displacement* yang diperlukan untuk pengembangan *maximum shear stress*. Berdasarkan data eksperimen yang dikumpulkan, nilai K bervariasi dari 1 cm untuk medan berpasir yang kokoh hingga 2,5 cm untuk pasir lepas, dan kira-kira 0,6 cm untuk tanah liat. Hasil eksperimen yang tersedia juga menyarankan nilai tersebut K mungkin merupakan fungsi dari tekanan normal. Namun, hubungan mereka tepat belum ditentukan.

Hubungan antara *maximum shear stress* dan tekanan normal yang diterapkan dapat diturunkan. Memiliki persamaan telah ditemukan Mohr-Coulomb yang menggambarkan hubungan ini secara memadai dalam banyak kasus;

$$\tau_{max} = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.4)$$

Dalam persamaan ini, τ_{max} adalah *maximum shear stress*, σ adalah *normal stress*, c dan ϕ adalah *cohesion* dan *angel of shearing resistance*.

2.2.5 Performa Kendaraan *Tracked*

Performa kendaraan *off-road* mengacu pada kemampuannya untuk mengatasi resistensi, mengembangkan *drawbar pull*, untuk mempercepat dalam gerakan garis lurus. Tergantung setelah penggunaan yang dimaksudkan, kriteria yang berbeda digunakan untuk mengevaluasi kinerja berbagai jenis kendaraan *off-road*. Untuk kendaraan *tracked* fungsi utamanya adalah menyediakan rancangan yang memadai untuk menarik (atau mendorong). Performa *drawbar pull* Oleh karena itu sangat penting. Ini mungkin dicirikan dari rasio *drawbar pull* ke berat kendaraan *tracked* (koefisien *drawbar pull*), *drawbar power* (power dari *drawbar pull* dan kecepatan maju kendaraan), dan traksi (drawbar) efisiensi (rasio *drawbar power* ke input *power* yang sesuai).

2.2.5.1 Faktor *Resistance* Pada Performa Kendaraan *Tracked*

Kekuatan resisten eksternal utama yang bekerja pada kendaraan *tracked* ditunjukkan pada Gambar 2.32

Dengan memperkenalkan konsep gaya inersia

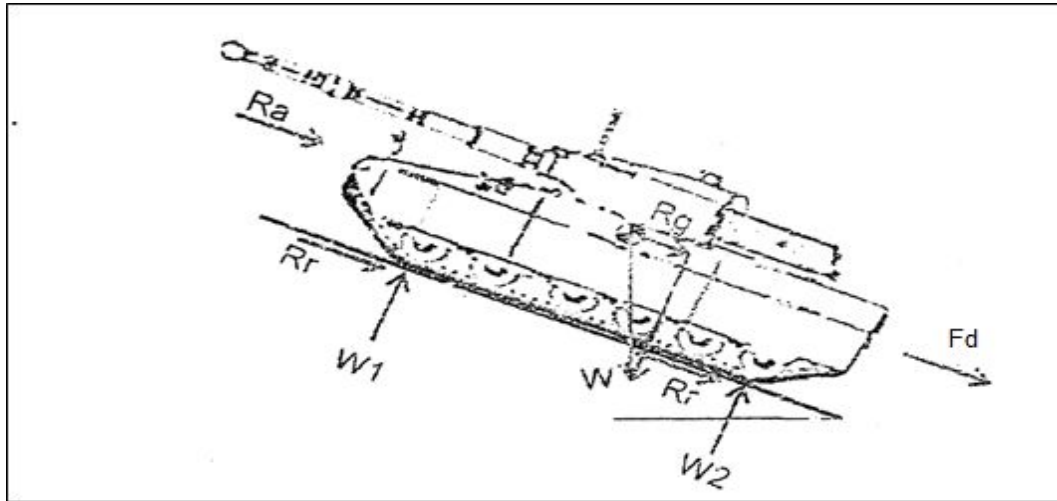
$$F = (aW/g + R_a + R_r + F_d \pm R_g)$$

Di bawah kondisi operasi *steady – state*, gaya inersia (aW / g) adalah nol dan Persamaan (6.2) disederhanakan menjadi;

$$F = (R_a + R_r + F_d \pm R_g) \quad (2.5)$$

$$R_a = 1/2 \times \rho \times C_d \times A \times v^2 \quad (2.6)$$

Dimana R_a adalah Aerodynamic Resistance, ρ adalah Air Density, C_d adalah Coeficient of drag, A adalah Vehicle frontal area dan v adalah Vehicle velocity.

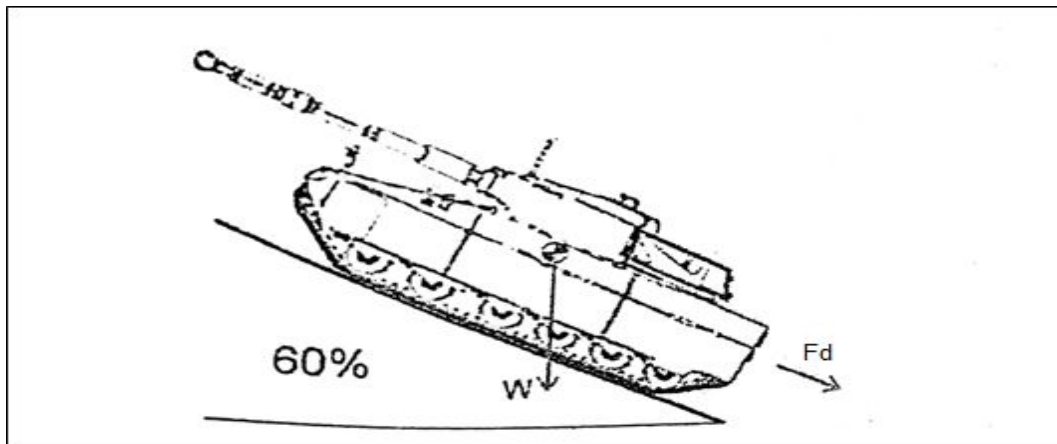


Gambar 2.32 Gaya yang bekerja pada Kendaraan Tracked

Sumber: PT. Pindad. Rancang Bangun (*Technology Development Medium Tank*), Analisis Statis Dengan Menggunakan Software (2015).

$$R_r = C_{rr} \times W \quad (2.7)$$

Dimana R_r adalah *Rolling Resistance*, C_{rr} adalah *Specific Rolling Resistance* dan W adalah *Vehicle tracked Weight*.



Gambar 2.33 Gambar yang berpengaruh pada kondisi tanjakan

Sumber: PT. Pindad. Rancang Bangun (*Technology Development Medium Tank*), Analisis Statis Dengan Menggunakan Software (2015).

$$R_g = W \times \sin \theta \quad (2.8)$$

Dimana R_g adalah *Gradient Resistance*, W adalah *Tank weight* dan θ adalah Sudut Tanjakan.

$$F_d = F - \sum R \quad (2.11)$$

Dimana F_d adalah *drawbarpull*, F adalah *thrust* dan $\sum R$ adalah jumlah *resistance*.

2.2.5.2 Faktor *Thrust* Pada Performa Kendaraan *Tracked*

Untuk mengevaluasi potensi kinerja kendaraan *tracked*, *thrust* kendaraan *tracked* berjalan yang dikembangkan harus ditentukan. Ada dua *limit factor* pengembangan *thrust* kendaraan *tracked*. Salah satunya terkait dengan karakteristik *power plant* dan transmisi, dan yang lainnya terkait dengan karakteristik geser antara kendaraan yang bergerak dan deskripsi *terrain* dalam (2.5).

Thrust F yang ditentukan oleh karakteristik *power plant* dan transmisi dijelaskan sebagai berikut;

$$F = \frac{M_e \xi_o \eta_t}{r} \quad (2.9)$$

Dimana M_e adalah *engine torque*, ξ adalah *overall gear reduction ratio of the transmission, including the gear ratio of the gearbox and that of the drive axle*, η_t adalah *mechanical efficiency of the transmission* dan r adalah *radius sproket*.

Speed V kendaraan *tracked* yang sesuai ditentukan sebagai berikut;

$$V = \frac{n_e r}{\xi_o} (1 - i) \quad (2.10)$$

Dimana n_e adalah *engine speed*, dan i adalah *slip*. Definisi *slip* i dijelaskan dalam persamaan (2.23). Perlu dicatat bahwa dalam *thrust* F_t , *action shearing* pada permukaan *terrain* menyebabkan *slip*. *Slip* kendaraan *tracked* ditentukan sebagai berikut;

$$i = 1 - \frac{V}{V_t} = 1 - \frac{V}{r\omega}$$

Dimana V adalah kecepatan bergerak maju kendaraan, V_t adalah teori kecepatan kendaraan yang bergerak, yang mana adalah nilai *angular speed* ω , dan r *radius sproket*.

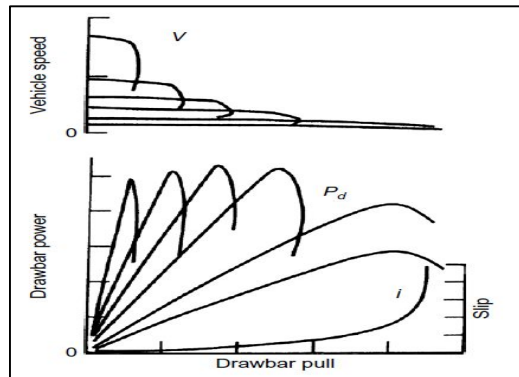
2.2.5.3 Drawbar Power and Efisiensi Tractive (Drawbar)

Produk *drawbar pull* F_d dan kecepatan bergerak maju kendaraan V disebut sebagai *drawbar power* P_d . Ini mewakili potensi produktivitas kendaraan, yaitu nilai dimana produktifitas kerja, seperti membajak atau *bulldozing*, yang dapat dilakukan. *Drawbar power* P_d dijelaskan sebagai berikut;

$$P_d = F_d V = (F - \sum R) V_t (1 - i) \quad (2.12)$$

Untuk mengkarakterisasi efisiensi kendaraan tracked dalam mengubah *engine power* menjadi daya yang tersedia pada *drawbar hitch* untuk melakukan pekerjaan yang produktif, efisiensi traksi drawbar dapat digunakan. Efisiensi traksi η_d adalah rasio *drawbar power* P_d terhadap *Engine Power* P_e dijelaskan sebagai berikut;

$$\eta_d = \frac{P_d}{P} = \frac{F_d V}{P} = \frac{(F - \sum R) V_t (1 - i)}{P}$$



Gambar 2.34 Performa Drawbar pada Kendaraan Tracked

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

Engine power P berpengaruh ke drawbar power P_d dapat dinyatakan dalam istilah power yang tersedia di sprocket kendaraan tracked yang digerakkan oleh roda dan efisiensi mekanis transmisi η_t :

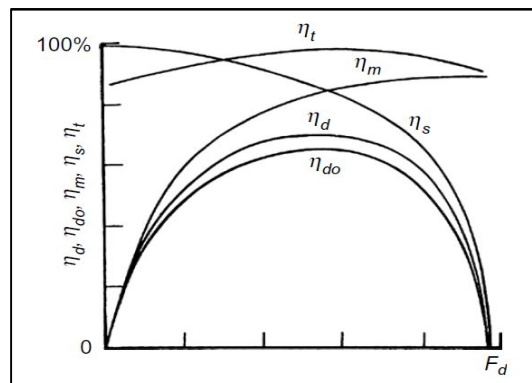
$$P = \frac{FV_t}{\eta_t}$$

Ketika engine power P di substitusi ke dalam persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut;

$$\eta_d = \frac{F_d V}{P} = \frac{(F - \sum R)V_t(1-i)}{FV_t/\eta_t} = \frac{F_d}{F}(1-i)\eta_t = \eta_m \eta_s \eta_t \quad (2.13)$$

Dimana η_m disebut sebagai efisiensi gerak F_d/F dan η_s adalah efisiensi slip $(1-i)$.

Efisiensi gerak η_m menunjukkan kerugian dalam mengubah daya dorong yang dikembangkan ketika bergerak ke tarikan di drawbar hitch untuk menghasilkan gaya total untuk menarik (atau mendorong). Untuk tahanan gerak memiliki nilai, efisiensi gerak umumnya meningkat dengan meningkatnya drawbarpull, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.35 Efisiensi traksi (drawbar) pada fungsi drawbarpull

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

Definisi efisiensi traktif (drawbar) η_d yang sering digunakan adalah rasio drawbar power ke input daya ke sprocket penggerak kendaraan tracked.

Dalam hal ini, efisiensi mekanis dari transmisi η_t tidak dimasukkan dan dijelaskan sebagai berikut;

$$\eta_d = \frac{F_d}{F} (1 - i) = \eta_m \eta_s$$

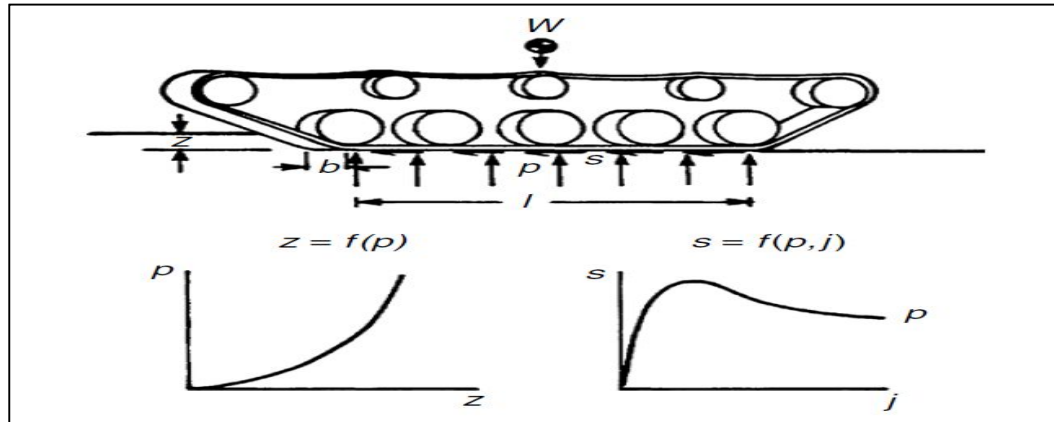
2.2.6 Metode Analisis Parametrik

Berbagai model untuk memprediksi dan mengevaluasi kinerja kendaraan *tracked* yang telah dikembangkan. Tinjauan singkat tentang metode untuk parametrik analisis untuk memprediksi distribusi tekanan statis di bawah *track* di jelaskan metode ini.

Salah satu metode yang lebih dikenal untuk analisis parametrik kinerja kendaraan *tracked* adalah awalnya dikembangkan oleh Bekker (1956). Dalam metode ini, *track* yang bersentuhan dengan *terrain* diasumsikan mirip dengan pijakan yang kaku. Jika *center of gravity* kendaraan berada di titik tengah *contact area track*, distribusi tekanan normal dapat diasumsikan seragam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.26. Di sisi lain, jika *center of gravity* kendaraan terletak di depan atau di belakang titik tengah *contact area*, distribusi *sinkage* akan diasumsikan membentuk trapesium. Berdasarkan *contact pressure* yang diasumsikan, dan memanfaatkan Hubungan *pressure – sinkage*, *sinkage* dari *track* dapat diprediksi. Menggunakan persamaan *pressure – sinkage* Bekker (2.9), untuk *track* dengan *contact pressure* yang seragam, *sinkage* z_0 dijelaskan sebagai berikut;

$$z_0 = \left(\frac{p}{K_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{W/2lb}{K_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} \quad (2.14)$$

Dimana b dan l adalah lebar dan panjang *contact of track*, dan W adalah *normal load* pada *track*.



Gambar 2.36 Model sederhana untuk performa kendaraan *tracked*

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

Kerja yang dilakukan pada pemadatan *terrain* untuk kedalaman z_0 dengan lebar *track* b dan panjang *contact* l dan dengan *contact pressure* yang seragam dijelaskan sebagai berikut;

$$Work\ done = bl \int_0^{z_0} (k_c/b + k_\phi) z^n dz = bl(k_c/b + k_\phi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right) \quad (2.15)$$

Substitusi untuk z_0 dari hasil persamaan (2.29)

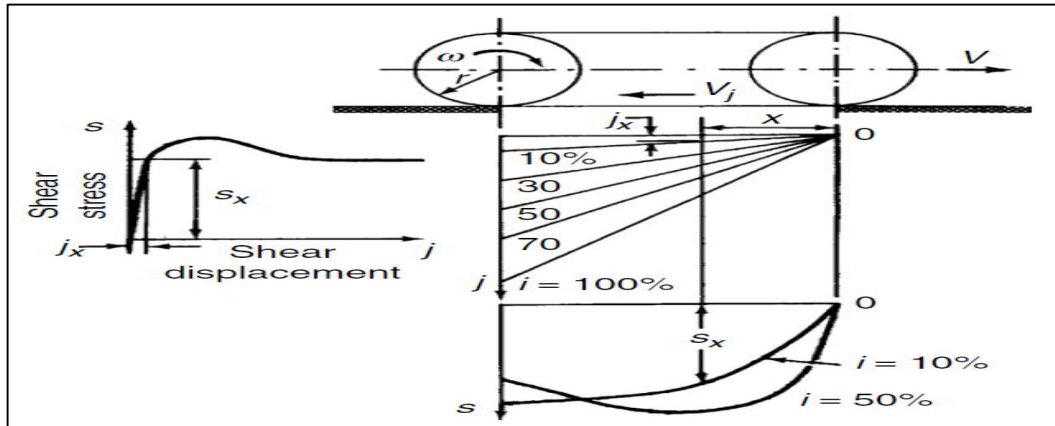
$$Work\ done = \frac{bl}{(n+1)(k_c/b+k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{bl} \right)^{(n+1)/n}$$

Jika *track* ditarik dengan jarak l ke arah horisontal, *work done* dengan *towing force*, dimana besarnya nilai sama dengan resistensi gerakan karena *compaction* R_c , dapat disamakan dengan *work done* yang dilakukan dalam membuat alur dengan lebar b dan panjang l hingga kedalaman z_0 , seperti yang dinyatakan pada persamaan (2.31);

$$R_c l = \frac{bl}{(n+1)(k_c/b+k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{bl} \right)^{(n+1)/n}$$

Dan

$$R_c = \frac{l}{(n+1)b^{1/n}(k_c/b+k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{l} \right)^{(n+1)/n}$$



Gambar 2.37 Pengembangan dari *shear displacement* dan *shear stress* dibawah *rigit track*.

Sumber: Wong, J.Y. *Theory of Ground Vehicle*. Wiley. 4th Edision (2008).

Gambar 2.37 mengilustrasikan pendekatan untuk evaluasi shear displacement di bawah *track* yang memiliki bidang kontak datar. Ketika penggerak torsi diterapkan ke *sproket*, *shearing action* terjadi pada *track – terrain interface*. Akibatnya, terdapat sebuah gerakan relatif antara *track* dan *terrain* (atau *shear displacement*) pada arah horizontal, yang menghasilkan *track slip*. Slip *i track* didefinisikan oleh Persamaan;

$$i = 1 - \frac{V}{r\omega} = 1 - \frac{V}{V_t} = \frac{V_t - V}{V_t} = \frac{V_j}{V_t}$$

Dan

$$V_j = r\omega$$

Dimana V adalah kecepatan bergerak maju *track*, V_t adalah kecepatan teoritis *track*. Yang merupakan produksi radius putaran r dan kecepatan sudut ω dari sproket, dan V_j adalah kecepatan slip *track* (kebalikan arah dari kecepatan gerak maju dari *track*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.37. Oleh karena itu, Kecepatan slip V_j sama untuk setiap titik *track* ketika *contact* dengan *terrain*. *Shear displacement* j pada suatu titik berada pada jarak x dari depan *track* dijelaskan sebagai berikut;

$$j = V_j t$$

di mana t adalah waktu *contact* dari titik yang diusulkan dengan *terrain* dan sama dengan persamaan x/V_t (2.34) dapat ditulis ulang sebagai berikut;

$$j = \frac{V_j x}{V_t} = ix$$

Ini menunjukkan bahwa *shear displacement* di bawah *track* memiliki peningkatan pada *contact surface* datar secara linear dari nol di bagian depan ke bagian belakang *contact area*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.37.

Jika *normal pressure* pada *track* terdistribusi secara seragam, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.38(a), dan hubungan *shear stress* – *shear displacement* dideskripsikan sederhana pada persamaan eksponensial, Eqn (2.13), *tractive effort* F dari *track* dengan *contact surface* datar dapat dinyatakan dengan;

$$F = b \int_0^1 \left(c + \frac{W}{bl} \tan \varphi \right) (1 - e^{-ix/K}) dx$$

$$F = (2blc + W \tan \varphi) \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-i/K}) \right] \quad (2.17)$$

Dimana A , b , dan l adalah *contact area*, lebar dan panjang *contact track*, c , φ , dan K adalah parameter kohesi, sudut *shearing resistance* dan *shear deformation*, i adalah slip *track*, dan W adalah beban normal pada *track*.

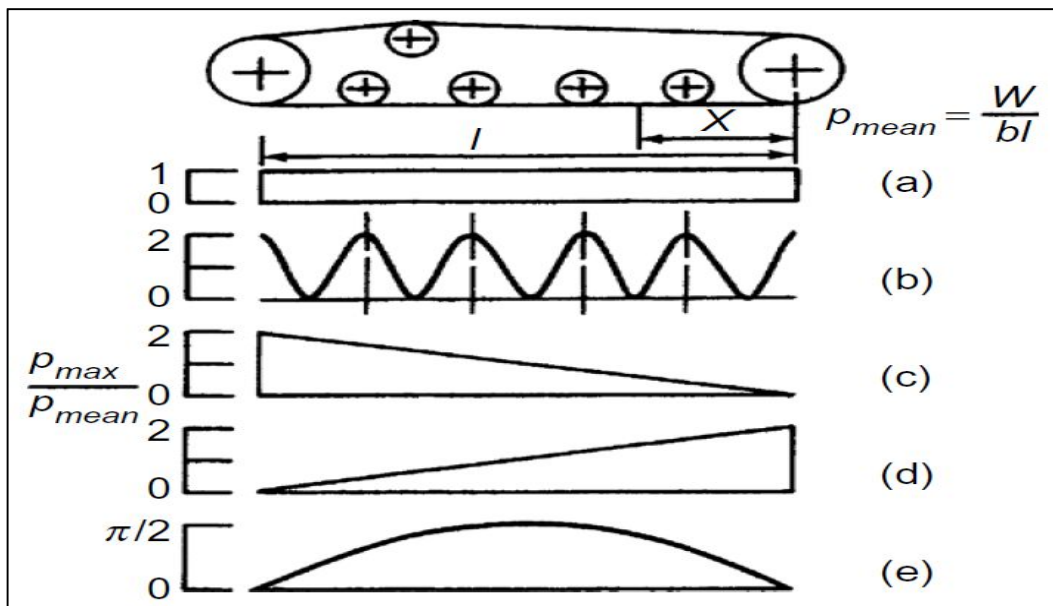
Jika *normal pressure* tidak terdistribusi secara merata di sepanjang *length contact track*, prosedur penjelasan diatas dapat digunakan untuk memprediksi *thrust* yang dihasilkan oleh *track* sebagai fungsi dari slip. Misalnya, jika *normal pressure* memiliki distribusi *multi – peak sinusoidal* ditunjukkan pada Gambar 2.38(b), *normal pressure* dinyatakan oleh Wills (1963).

$$p = \frac{W}{bl} \left(1 + \cos \frac{2n\pi x}{l} \right)$$

Dimana n nomor periodik, Untuk kasus *peak pressure* p_{max} dua kali *mean pressure* p_{mean} W/bl .

Pada *frictional terrain*, *shear stress* yang terjadi sepanjang *contact length* dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$s = \frac{W}{bl} \tan \varphi \left(1 + \cos \frac{2n\pi x}{l} \right) \left(1 - e^{-ix/K} \right)$$



Gambar 2.38 Variasi distribusi normal pressure yang ideal dibawah Track

Sumber: Wills, B. M. D. *The measurement of soil shear strength and deformation moduli and a comparison of the actual and theoretical performance of a family of rigid tracks*. Journal of Agricultural Engineering Research, 8(2), 115–131 (1963).

Dan oleh karena itu *tractive effort* sebagai fungsi slip dijelaskan sebagai berikut;

$$F = b \int_0^l \frac{W}{bl} \tan \varphi \left(1 + \cos \frac{2n\pi x}{l} \right) \left(1 - e^{-ix/K} \right) dx$$

$$F = W \tan \varphi \left[1 + \frac{K}{il} \left(e^{-il/K} - 1 \right) + \frac{K(e^{-il/K} - 1)}{il(1 + 4n^2 K^2 \pi^2 / i^2 l^2)} \right] \quad (2.18)$$

Dalam kasus di mana *normal pressure* meningkat secara linier dari depan ke belakang *contact area* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.28(c), distribusi normal pressure dijelaskan sebagai berikut;

$$p = \frac{2W}{bl} \frac{x}{l}$$

dan pada *frictional terrain*, *tractive effort* sebagai fungsi slip dijelaskan sebagai berikut;

$$F = W \tan \varphi \left[1 - 2 \left(\frac{K}{il} \right)^2 \left(1 - e^{-i/K} - \frac{il}{K} e^{-il/K} \right) \right] \quad (2.19)$$

Jika *normal pressure* berkurang secara linier dari depan ke belakang *contact area* yang ditunjukkan pada Gambar 2.28(d), distribusi *normal pressure* dijelaskan sebagai berikut;

$$p = \frac{2W}{bl} \frac{l-x}{l}$$

dan pada *frictional terrain*, *tractive effort* dijelaskan sebagai berikut;

$$F = 2W \tan \varphi \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-i/K}) \right] - W \tan \varphi \left[1 - 2 \left(\frac{K}{il} \right)^2 \left(1 - e^{-il/K} - \frac{il}{K} e^{-il/K} \right) \right] \quad (2.20)$$

Dalam kasus di mana *normal pressure* memiliki distribusi sinusoidal dengan *maximum pressure* di tengah dan *zero pressure* di depan dan dibelakang titik *contact* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.28(e), distribusi tekanan normal dijelaskan sebagai berikut;

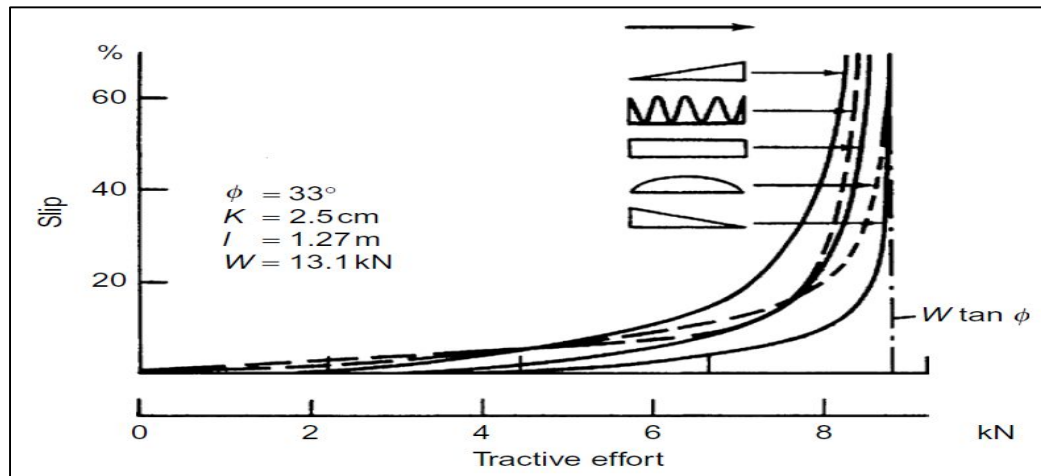
$$p = \frac{W}{bl} \frac{\pi}{2} \sin \left(\frac{\pi x}{l} \right)$$

Perlu dicatat bahwa dalam hal ini, *maximum pressure* di titik tengah p_{max} , sama dengan $(\pi/2)(W/bl)$. pada *frictional terrain*, *tractive effort* sebagai fungsi slip dijelaskan sebagai berikut;

$$F = W \tan \varphi \left[1 - \frac{(e^{-il/K} + 1)}{2(1 + i^2 l^2 / \pi^2 K^2)} \right] \quad (2.21)$$

Gambar 2.29 menunjukkan variasi *tractive effort* dengan slip pada kendaraan *track* dengan berbagai variasi jenis distribusi *normal pressure* yang dijelaskan Wills. Dapat dilihat bahwa distribusi *normal pressure* di

bawah *rigid track* mempengaruhi perkembangan *tractive effort*. Dari prediksi *tractive effort* dan *motion resistance*, drawbarpull sebagai fungsi slip dan performa *overall tractive* kendaraan dapat ditentukan.



Gambar 2.39 Efek dari distribusi tekanan normal pada *tractive effort* (*thrust*) sebuah *track* pada pasir.

Sumber: Wong, J. Y. *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands (2010).

2.2.7 Pengukuran Sifat Kekuatan Tanah

Eksperimen adalah metode empiris yang didasarkan pada hasil uji angka kendaraan *track* yang representatif di berbagai medan. Metode ini dilakukan dengan pengukuran sifat kekuatan tanah, menghitung parameter karakteristik mobilitas kendaraan, menghitung parameter limit mobilitas kendaraan dan menghitung prediksi performa kendaraan.

2.2.7.1 Cone Index (CI)

Indeks kekuatan geser tanah diperoleh dengan menggunakan *trafficability* kerucut penetrometer standar di US Army Engineer Waterways Experiment (WES). Metode yang paling banyak digunakan untuk mengukur kekuatan tanah dalam terramekanik. Alat yang mudah dibawa yang

mengukur kekuatan untuk mendorong kerucut baja dari area yang diproyeksikan $0,5 \text{ in}^2$ ke tanah dengan tangan. Hasil yang diperoleh hanya memberikan perkiraan *trafficability* sifat tanah, yang melibatkan beberapa parameter berbeda yang membutuhkan penentuan laboratorium (Barton *et al.*, 2000).

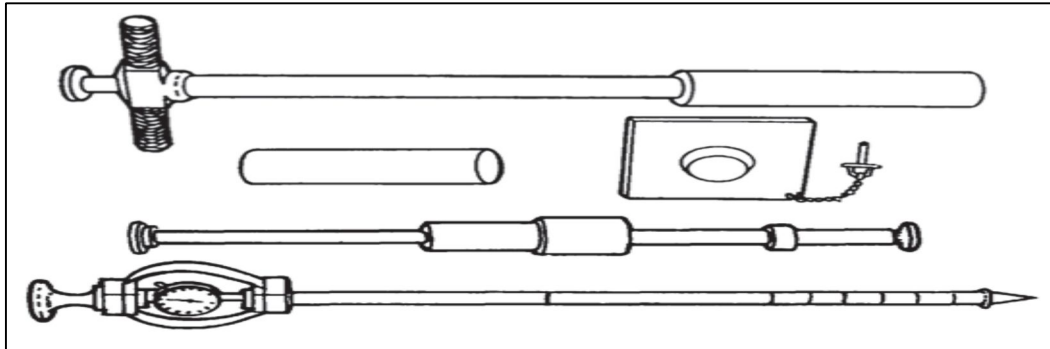


Gambar 2.40 Penentuan *Cone Index*

Sumber : <http://armyengineer.tpub.com/En5341a/En5341a0114.htm>

2.2.7.2 *Remoulding Index (RI)*

Index Ukuran sensitivitas tanah terhadap kehilangan kekuatan di bawah lalu lintas kendaraan. RI diukur menggunakan peralatan remolding (Steven *et al.*, 2013). Nilai tipikalnya untuk tanah berbutir, 0,8 untuk tanah liat, 0,4 – 0,6 untuk tanah sangat berlumpur atau organik dan 0,2 untuk tanah gambut.



Gambar 2.41 Remolding index

Sumber : <http://armyengineer.tpub.com/En5341a/En5341a0114.htm>

2.2.7.3 Rating Cone Index (RCI)

Indeks kekuatan geser tanah yang mencakup pertimbangan sensitivitas tanah terhadap kekuatan kehilangan di bawah kendaraan lalu lintas. Ini didefinisikan sebagai produk *Cone Index* (CI) dan *Remolding Index* (RI) untuk lapisan tanah tertentu (Steven *et al.*, 2013), dijelaskan sebagai berikut:

$$RCI = Ri \times Ci \quad (2.22)$$

Dimana

$RCI = Rating Cone Index$

$Ci = Cone Index$

$Ri = Remoulding Cone Index$

2.2.8 Parameter Karakteristik Mobilitas Kendaraan

Parameter karakteristik mobilitas hanya bergantung pada spesifikasi kendaraan dan tidak tergantung pada jenis tanah tempat ia beroperasi (Rahman *et al.*, 2017).

2.2.8.1 Nominal Ground Pressure (NGP)

Mengkarakterisasi mobilitas kendaraan *track* yaitu Ukuran tekanan rata – rata yang diberikan oleh *track* pada tanah dan dihitung dengan membagi berat kendaraan dengan area pada *track* yang diproyeksikan kontak dengan tanah.

$$NGP = \frac{W}{2bl} \quad (2.23)$$

Dimana

$NGP =$ Nominal Ground Pressure (kPa)

$W =$ gross vehicle weight (kg)

$b =$ track width (m)

$l =$ nominal length of track on the ground (m)

2.2.8.2 Mobility Index (MI)

Parameter ini dikembangkan oleh WES, berasal dari perhitungan yang dilakukan pada parameter VCI. Setelah menetapkan VCI dari sejumlah kendaraan *track* melalui percobaan, metode empiris digunakan untuk menghubungkan hasil ini dengan karakteristik kendaraan yang berjalan dengan menggabungkan mereka ke dalam satu parameter tunggal, dijelaskan sebagai berikut:

$$MI = \left[\frac{CPF \times WF}{TF \times GF} + WLF - CF \right] EF \times TRF \quad (2.24)$$

Dimana :

$$CPF \text{ (Contact Pressure Factor)} = \frac{\text{gross vehicle weight (lbf)}}{\text{area of tracks in contact with the ground (in}^2\text{)}}$$

$$\begin{aligned} WF \text{ (Weight Factor)} &= 1,0 \text{ (} W < 50.000 \text{ lbf)} \\ &= 1,2 \text{ (} 50.000 \text{ lbf} < W < 69.999 \text{ lbf)} \\ &= 1,4 \text{ (} 70.000 \text{ lbf} < W < 99.999 \text{ lbf)} \\ &= 1,8 \text{ (} W \geq 100.000 \text{ lbf)} \end{aligned}$$

$$TF \text{ (Track Factor)} = 0,01 \times \text{track width (in)}$$

<i>GF (Grouser Factor)</i>	= 1,0 (<i>grousers < 1in high</i>) = 1,1 (<i>grousers > 1in high</i>)
<i>WLF (Wheel load Factor)</i>	= $\frac{\text{gross vehicle weight (lbf)}}{10NA_{shoe}}$
Dimana	<i>N = jumlah roda</i> <i>A_{shoe} = area pada 1 track shoe (in²)</i>
<i>CF (Clearance Factor)</i>	= <i>ground clearance(in)/10</i>
<i>EF (Engine Factor)</i>	= 1,0 (<i>power mass ratio > 10 hp/ton</i>) = 1,05 (<i>power mass ratio < 10 hp/ton</i>)
<i>TRF (Transmission Factor)</i>	= 1,0 (<i>automatic transmission</i>) = 1,05 (<i>manual transmission</i>)

2.2.8.3 Mean Maximum Pressure (MMP)

Parameter untuk mengekspresikan dasar tekanan kendaraan *track*, nilai rata-rata dari *maximum* yang terjadi di bawah semua stasiun *roadwheel* dari sebuah kendaraan *track* yang memiliki hubungan dengan kekuatan tanah dan lalu lintas kendaraan, seperti *resistance sinkage* (Larminie, 1992), dijelaskan sebagai berikut:

$$MMP = \frac{1,26W}{2mbe \sqrt{pd}} \quad (2.25)$$

Dimana:

MMP = Mean Maximum Pressure (kPa)

W = gross vehicle weight (kg)

m = number of wheelstations on one track

b = track width (m)

p = track pitch (m)

d = roadwheel diameter(m)

e = track link profile factor footprint – area/pb

2.2.9 Parameter Limit Mobilitas Kendaraan

Parameter limit mobilitas dirancang untuk menunjukkan kekuatan minimum tanah tempat kendaraan *track* diharapkan tetap bergerak (Rahman *et al.*, 2017).

2.2.9.1 Limiting Cone Index (CI_L)

Mengkorelasikan nilai MMP dengan kemampuan mobilitas aktual dari kendaraan *track* yang diukur berdasarkan minimum soil cone index beroperasi dalam *single pass*, dijelaskan sebagai berikut:

$$CI_L = 0,83 MMP \quad (2.26)$$

Dimana:

$CI_L = \text{Limiting cone Index (kPa)}$

$MMP = \text{Mean Minimum Pressure (kPa)}$

2.2.9.2 Vehicle Cone Index (VCI)

Kekuatan minimum tanah yang dibutuhkan untuk sebuah kendaraan untuk secara konsisten membuat sejumlah lintasan tertentu. Pertimbangannya adalah paling sering diberikan kekuatan tanah satu *pass* VCI1 dan 50 *pass* VCI50. Nilai-nilai VCI untuk satu *pass* dan 50 *pass*, VCI1 dan VC150, adalah dihitung dari *Mobility Index* (MI) menggunakan persamaan (Rula *et al.*, 1971), yang dijelaskan berikut:

$$VCI_1 = 7,0 + 0,2MI - \frac{39,2}{MI+5,6} \quad (2.27)$$

$$VCI_{50} = 19,27 + 0,43MI - \frac{125,79}{MI+7,8} \quad (2.28)$$

Dimana:

$VCI = \text{Vehicle Cone Index (kPa)}$

$MI = \text{Mobility Index}$

2.2.9.3 Vehicle Limiting Cone Index (VLCI)

Parameter yang didefinisikan, menunjukkan *minimum cone index* tanah berbutir halus di mana kendaraan *track* dapat diharapkan tetap bergerak, yang dijelaskan sebagai berikut:

$$VLCI = \frac{1,63W}{2mbe \sqrt{pd}} \quad (2.29)$$

2.2.10 Prediksi Performa Mobilitas

Prediksi Performa Mobilitas adalah cara yang lebih banyak untuk memprediksi mobilitas kendaraan *track*. Metode yang digunakan, yang ingin dicapai dengan mencocokkan persamaan dengan hasil penyelidikan eksperimental.

2.2.10.1 Mobility Numerics

Mobility Numerics adalah metode empiris yang menginterpolasi berbasis besaran yg banyak hasil eksperimen yang diperoleh oleh WES dan peneliti lain, dijelaskan sebagai berikut:

$$\pi_{TC} = 11,25 \left[\frac{0,145RCI}{MMP} \right]^{0,72} \quad (2.30)$$

Dimana:

π_{TC} = *Mobility Numerics Clay*

RCI = *Rating Cone Index (lbf/in²)*

MMP = *Mean Maximum Pressure (kPa)*

$$\pi_{TS} = \frac{G (bl)^{1,5}}{W} \quad (2.31)$$

π_{TS} = *Mobility Numerics Sand*

G = *Penetration resistance gradient sand*

W = *gross vehicle weight*

$b = \text{track width}$

$l = \text{length of track on ground}$

2.2.10.2 Excess Soil Strength

Metode ini digunakan dalam NRMM II untuk memprediksi drawbar pull pada tanah berbutir halus dan kasar. Menghitung kelebihan kekuatan tanah, yang ditentukan dengan mengurangi *vehicle cone index* dengan *rating cone index*. Nilai ini kemudian dimasukkan dalam persamaan empiris yang sesuai untuk menentukan koefisien *drawbar pull*, yang dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{D}{W} \text{ (Fine - grained soil)}$$

$$= 0,6512633 - \frac{4,90683}{RCI-VCI+7,285463} + 0,02224646 \text{ (ML, CL, SM)} \quad (2.32)$$

$$\frac{D}{W} \text{ (Coarse - grained soil)}$$

$$= 0,6969994 - \frac{5,131209}{RCI-VCI+6,99228} + 0,03483978 \text{ (SC, CH)} \quad (2.33)$$

Dimana:

$D = \text{drawbar pull}$

$W = \text{gross vehicle weight}$

$RCI = \text{Rating Cone Index soil (lbf/in}^2\text{)}$

$VCI = \text{Vehicle Cone Index soil (lbf/in}^2\text{)}$

2.3 Hasil Penelitian Terdahulu

Hafeezur Rahman, Ameer Malik Shaik, J. Rajesh Kumar, V. Balaguru, dan P. Sivakumar dalam penelitiannya yang berjudul *Design Configuration of a Generation Next Main Battle Tank for Future Combat* dengan metode analisis dan eksperimen menjelaskan Analisis evolusi dan revolusi *main battle tank* ditinjau dari daya gempur, daya gerak dan daya tahan. Perbedaan penelitian adalah objek penelitiannya *Main Battle Tank* dan proses penelitiannya pada tahapan *preliminary*.

R.A. Irani, R.J. Bauer, dan A. Warkentin dalam penelitiannya yang berjudul *A Dynamic Terramechanic Model For Small Lightweight Vehicles With Rigid Wheels And Grousers Operating In Sandy Soil* dengan metode analisis, eksperimen dan simulasi menjelaskan Model tanah dan ban yang dikembangkan memiliki parameter yang dipasang berdasarkan yang digunakan dalam percobaan untuk dua ukuran ban, pada dua tekanan inflasi, beroperasi pada dua komposisi tanah dengan massa sistem kecil dan besar. Perbedaan penelitiannya adalah objek penelitiannya pada roda ban, bukan pengujian untuk *tracked*.

Jo Yung Wong dalam penelitiannya yang berjudul *Terramechanics And Off – Road Vehicle Engineering* dengan metode analisis, eksperimen dan simulasi menjelaskan dinamika kendaraan *off-road* dan hubungannya dengan lingkungan *terrain*. Menghasilkan penelitian permodelan sifat *terrain*, Pengukuran dan karakteristik properti *terrain*, Permodelan interaksi kendaraan – *terrain*.

Justin Madsen, Toby Heyn dan Dan Negrut dalam penelitiannya yang berjudul *Methods for Tracked Vehicle System Modeling and Simulation* dengan metode analisis dan simulasi menjelaskan perbandingan penggunaan perangkat lunak simulasi kendaraan yang berbeda tipe, dan

kemudian mendemokan masing – masing kendaraan yang dibuat. Perbedaan penelitiannya adalah Untuk tahap validasi menggunakan metode simulasi.

Barton P C, Bennett M D, Hall L C, Hetherington J G dalam penelitiannya *Wheels and Tracks Study* dengan metode eksperimen menjelaskan Perbandingan eksperimen terhadap lalu lintas kendaraan roda dan *track* pada tanah berbutir halus. Hasil penelitiannya berupa Menentukan *accessibility terrain*, performa kendaraan, dan faktor lain. Perbedaan penelitiannya adalah Hanya menerangkan eksperimen dan tidak menerangkan metode analisis.

Jadi dari beberapa penelitian terdahulu yang paling relevan dengan penelitian tesis yang dikerjakan adalah metode analisis yang dilakukan oleh Jo Yung Wong yang berjudul *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Analisis parametriknya memberikan perhitungan yang jelas untuk mengetahui parameter dan interaksi antara *terrain – vehicle*. Selanjutnya penelitian tesis yang dikerjakan oleh Barton P C, Bennett M D, Hall L C, Hetherington J G dalam penelitiannya *Wheels and Tracks Study* dengan metode eksperimennya memberikan parameter – parameter yang digunakan untuk pengujian empiris kendaraan *Medium Tank*.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Metodologi	Permasalahan yang sedang diteliti	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Rahman A H Shaik A M Kumar J R Balaguru V Sivakumar P	<i>Design Configuration of a Generation Next Main Battle Tank of Future Combat (2017)</i>	Analisis dan Eksperimen	Analisis evolusi dan revolusi main battle tank ditinjau dari daya gempur, daya gerak dan daya tahan	Desain revolusi memberikan banyak keuntungan ditinjau dari daya gerak dan daya tahan	Perhitungan untuk analisis empiris	Objek penelitiannya adalah Main Battle Tank, dan prosesnya pada tahapan <i>preliminary</i>
2	Irani R.A Bauer R.J Warkentin A	<i>A Dynamic Terramechanic Model For Small Lightweight Vehicles With Rigid Wheels And Grousers Operating In Sandy Soil (2011)</i>	Analisis, Eksperimen dan Simulasi	Menjelaskan model terramekanik dinamis yang divalidasi untuk roda	Model tanah dan ban yang dikembangkan memiliki parameter yang dipasang berdasarkan yang digunakan dalam percobaan untuk dua ukuran ban, pada dua tekanan inflasi, beroperasi pada dua komposisi tanah dengan massa sistem kecil dan besar.	Perhitungan untuk analisis parametrik	Objek penelitiannya adalah pada roda ban, bukan pengujian untuk <i>tracked</i>

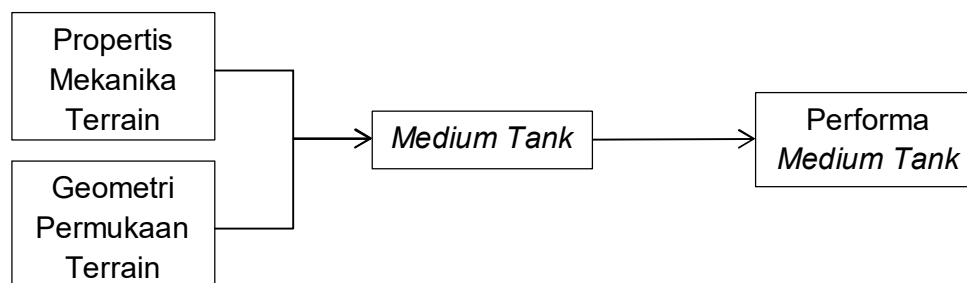
3	Wong J Y	<i>Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering</i> (2010)	Analisis, Eksperimen dan Simulasi	Studi dinamika kendaraan <i>off-road</i> dan hubungannya dengan lingkungan <i>terrain</i> .	Permodelan sifat <i>terrain</i> , Pengukuran dan karakteristik properti <i>terrain</i> , Permodelan interaksi kendaraan – <i>terrain</i> .	Perhitungan analisis parametrik dan empiris	Menjelaskan dengan tiga metode berbeda
4	Madsen J Negrut D Heyn T	<i>Methods for Tracked Vehicle System Modeling and Simulation</i> (2010)	Analisis dan Simulasi	Menjelaskan perbandingan penggunaan perangkat lunak simulasi kendaraan yang berbeda tipe, dan kemudian mendemokan masing – masing kendaraan yang dibuat.	Adanya hasil yang bisa dilihat secara visual karena dapat ditampilkan secara 3 dimensi.	Perhitungan untuk analisis parametrik	Untuk tahap validasi menggunakan metode simulasi
5	Barton P C Bennett M D Hall L C Hetherington J G	<i>Wheels and Tracks Study</i> (2000)	Eksperimen	Perbandingan eksperimen terhadap lalu lintas kendaraan roda dan <i>track</i> pada tanah berbutir halus	Menentukan <i>accessibility</i> <i>terrain</i> , performa kendaraan, dan faktor lain.	Perhitungan untuk analisis empiris	Hanya menerangkan eksperimen dan tidak menerangkan metode analisis

2.4 Kerangka Berfikir

Kebutuhan akan keberadaan tank penggempur untuk TNI sangatlah dibutuhkan karena untuk menggantikan keberadaan tank – tank yang telah termakan usia . Dari hal inilah kementerian pertahanan memasukkannya dalam tujuh program prioritas. Prioritas yang menjadi sasaran menghadirkan *Medium Tank* yang dikerjasamakan dengan pemerintah Turki. Disamping itu *Medium Tank* merupakan program jangka panjang dalam membangun penguasaan teknologi menuju kemandirian alutsista dalam negeri.

Prioritas utama adalah kebutuhan akan Alpalhankam pertahanan. Dalam sistem pertahanan negara, kendaraan tempur darat berbasis tank merupakan andalan utama di medan pertempuran darat karena mampu melintas pada hutan, gunung, maupun pantai dengan medan berat (off road), terjal, ekstrim, berpasir, berbatu, rawa, sehingga untuk mencapai target sasaran dapat dilakukan dengan mudah.

Jadi diperlukan pemahaman untuk menguasai kemampuan terrain dan mobilitas kendaraan untuk memenuhi operasi yang akan dijalankan, salah satu studi untuk memecahkan masalah itu adalah dengan mendalami terramekanik. Dalam terramekanik menjelaskan tentang kinerja keseluruhan kendaraan kaitannya dengan lingkungan operasinya (*Terrain*). Terramekanik memiliki dua cabang utama yaitu *vehicle – terrain* dan *terrain – implementasinya*. *Vehicle – terrain* terkait kinerja traksi dari kendaan dalam melewati *terrain*, sedangkan *terrain – implementasi* adalah daya dukung dari *terrain* untuk kendaraan dapat melewatinya.



Gambar 2.42 Kerangka Berfikir (Modifikasi Peneliti, 2019)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode dan Desain Penelitian

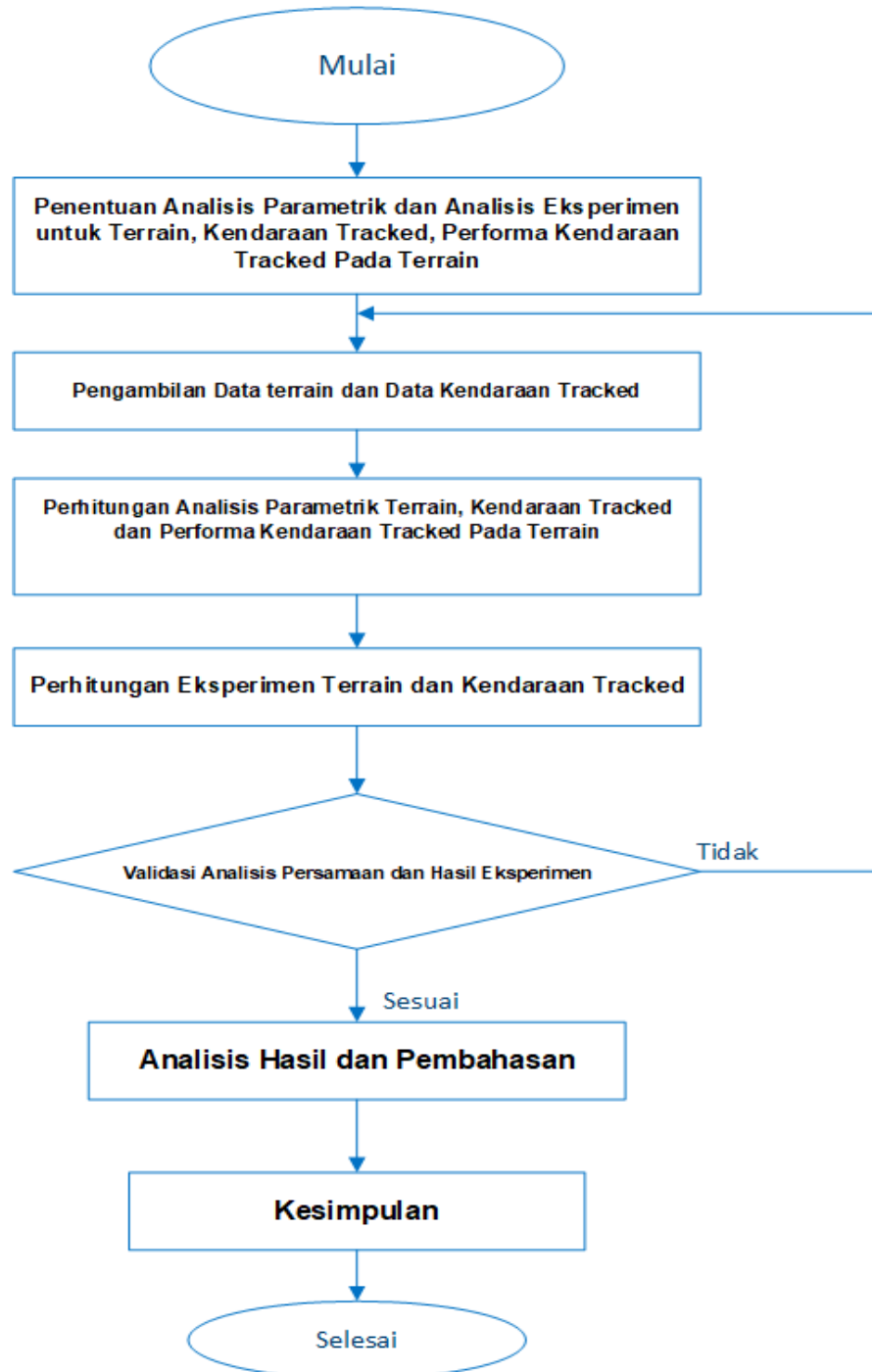
3.1.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan yang paling awal sebelum melakukan penelitian di lapangan supaya pada saat pengambilan data yang dibutuhkan nanti tidak terlalu jauh dengan tema atau metode yang dipakai dalam penelitian. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif yang dapat diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat *positifisme*, mengumpulkan data menggunakan instrumen peneliti, analisis data bersifat kuantitatif statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan, dapat diklasifikasikan, relatif tetap, konkrit, teramati, terukur dan hubungan gejala bersifat sebab akibat, sehingga kesimpulan hasil penelitian dapat digeneralisasikan.

Penelitian kuantitatif yang dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode analisis parametrik dan metode eksperimen. Metode analisis parametrik digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data tanah dan kendaraan sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Analisis ini hanya berupa akumulasi data dasar dalam bentuk deskripsi semata dalam arti tidak mencari atau menerangkan saling hubungan, menguji hipotesis, membuat ramalan, atau melakukan penarikan kesimpulan. Metode eksperimen yang digunakan sebagai metode untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu dari tanah terhadap kendaraan dalam kondisi tertentu, karena variabel – variabel *terrain* dipilih dan variabel kendaraan dapat mempengaruhi proses perhitungan.

3.1.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini, digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir (Modifikasi Peneliti, 2019)

3.3.1 Dokumentasi

Dokumentasi adalah suatu teknik dalam mengumpulkan data dari dokumen-dokumen yang ada pada benda-benda tertulis seperti buku-buku, notulensi, peraturan-peraturan, dan sebagainya.

3.3.2 Wawancara

Wawancara membantu memperkuat argument yang terdapat dalam mencari data peneliti dalam mengetahui hal-hal yang diperlukan dalam penelitian secara mendalam yaitu di PT.Pindad (Vice President Pengembangan Produk dan Proses, serta Kepala program *Medium Tank*), Pusat Kesenjataan Kavaleri (Kepala Pusenkav), dan Dislitbang AD (Kepala Dislitbang AD).

Sumber data pada penelitian ini, yaitu sumber data primer dan sekunder berdasarkan kepentingan yang dibutuhkan pada penelitian.

3.3.3 Data primer

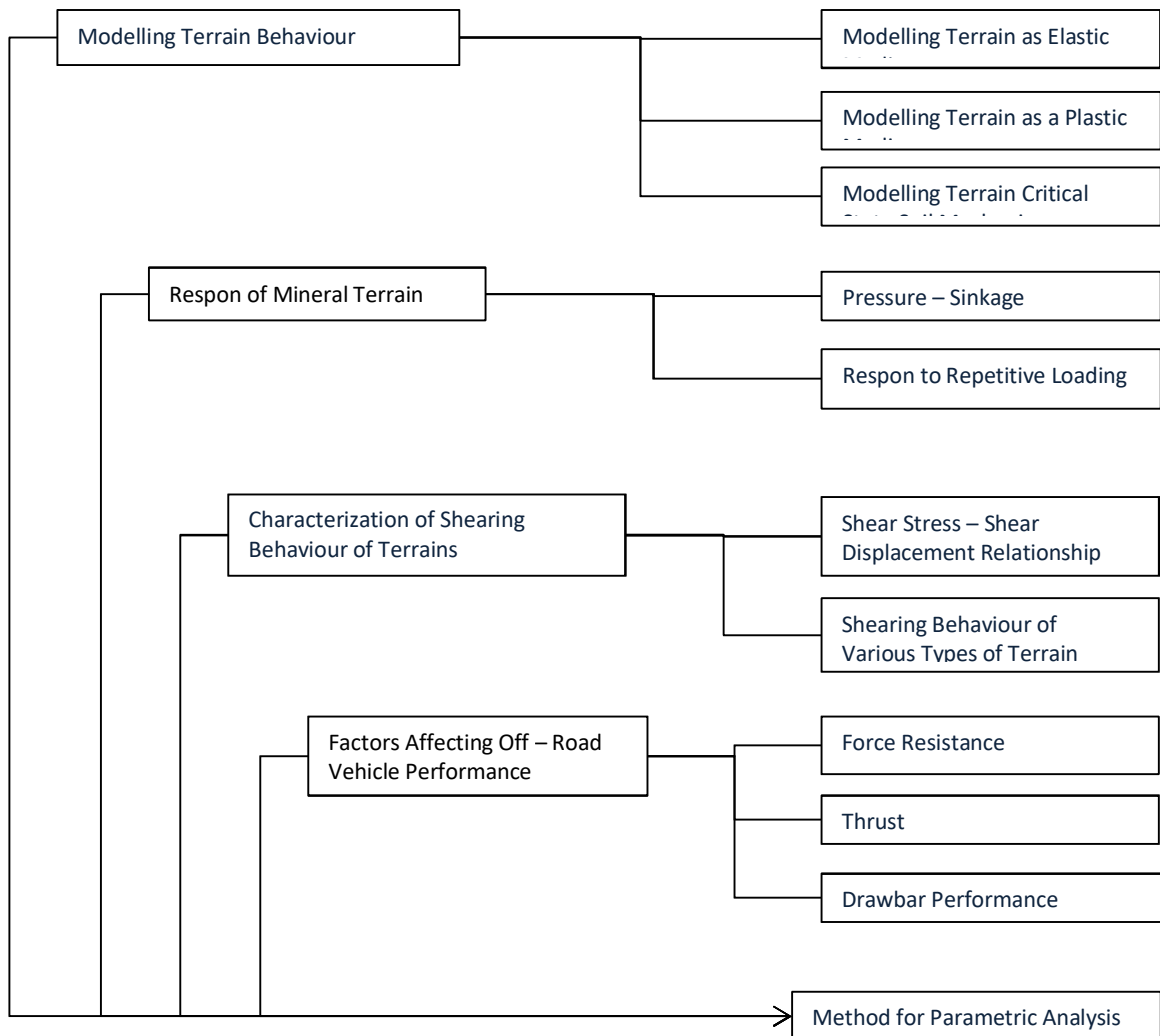
Data primer yang digunakan pada penelitian ini, merupakan data yang disusun oleh peneliti dengan tujuan untuk menyelesaikan permasalahan yang sedang dihadapinya dengan diperoleh atau dikumpulkan secara langsung dari lapangan sumber utama atau tempat objek penelitian dilakukan yaitu PT. Pindad, Kementrian Pertahanan, Litbang TNI AD. Pengambilan data primer dari PT.Pindad adalah mengenai, data Drive Model *Medium Tank*, data Powertrain *Medium Tank*, data Roda Rantai *Medium Tank*.

3.3.4 Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini, merupakan data yang diperoleh dan dikumpulkan oleh peneliti dengan tujuan mendukung informasi yang telah diperoleh atau memperkuat data primer dari data-data yang telah ada. Dalam penelitian ini yang menjadi sumber data sekunder yaitu studi pustaka, artikel, jurnal, buku, studi kasus, penelitian terdahulu dan lain sebagainya.

3.4 Teknik Analisis Data

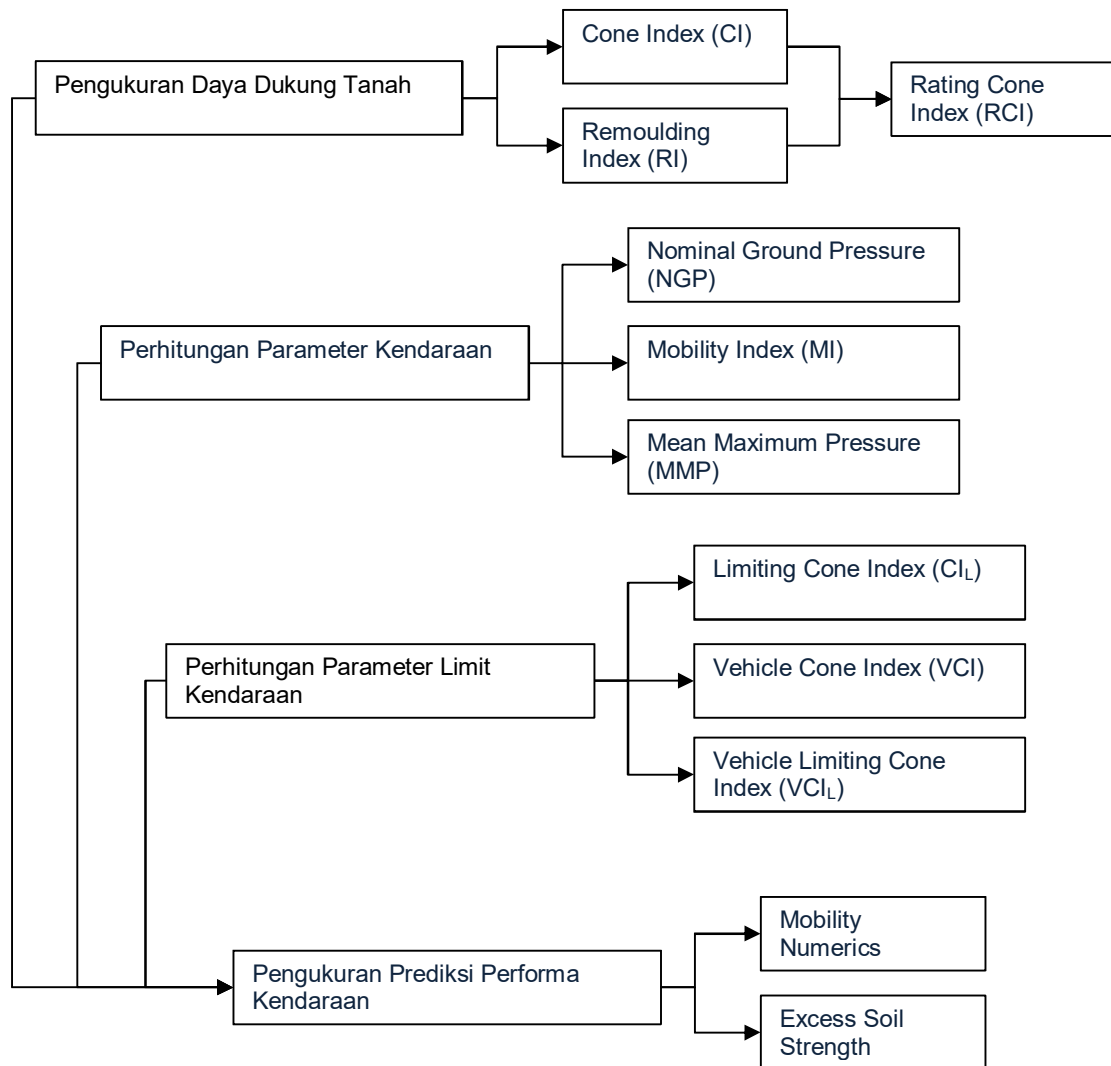
analisis yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah analisis parametrik dan. Analisis parametrik yang digunakan untuk mendapatkan hitungan dan hasil dari persamaan dasar untuk mengetahui nilai dari interaksi antara kendaraan *track* dan *terrain* yaitu hubungan *pressure – sinkage* dari *terrain*, hubungan *shear stress – shear displacement* dan *shear strain* dari *terrain*, hubungan *thrust – slip* dan traksi maksimum *system track*.



Gambar 3.2 Analisis Data Parametrik

Sumber: Olahan Peneliti

Kemudian analisis eksperimen digunakan untuk pengujian empiris lapangan terkait parameter yang telah ditentukan untuk mengetahui *Cone Index (CI)*, *Remoulding Index (RI)*, *Rating Cone Index (RCI)*, *Nominal Ground Pressure (NGP)*, *Mean Maximum Pressure (MMP)*, *Mobility Index (MI)*, *Limiting Cone Index (CI_L)*, *Vehicle Cone Index (VCI)*, *Vehicle Limiting Cone Index (VCI_L)*, *Mobility Numerics*, dan *Excess Soil Strength*.



Gambar 3.3 Analisis Data Empiris

Sumber: Olahan Peneliti

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

Peneliti mendeskripsikan data hasil penelitian masing – masing variabel yang diperoleh dengan rincian data *terrain* dan data *Medium Tank*.

4.1.1 Deskripsi Data *Terrain*

Tanah liat adalah tanah berbutir halus yang memiliki ukuran butiran (<0,002 mm).



Gambar 4.1 Tanah Liat

Sumber: <https://idealgeotech.com.au/lab-soil-testing/>

Pasir adalah tanah berbutir kasar yang memiliki ukuran butiran (0,06 - 2 mm)



Gambar 4.2 Pasir Kering

Sumber: ASTM International. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes Unified Soil Classification System (USCS)*.

West Conshohocken. United States (2000).

Berikut ini adalah tabel data tanah dan klasifikasi tanah yang disajikan untuk analisis parametrik dan empiris;

Tabel 4.1 Data tanah untuk analisis parametrik

	<i>Moisture</i>	<i>n</i>	<i>k_c</i>	<i>k_φ</i>	<i>c</i>	<i>φ</i>	<i>K</i>
Terrain	%		<i>kN/mⁿ⁺¹</i>	<i>kN/mⁿ⁺²</i>	<i>kPa</i>	<i>deg</i>	<i>cm</i>
Tanah Liat	38	0,5	13,19	629,15	4,14	13°	0,6 cm
Pasir	0	1,1	0,99	1528,43	1,04	28°	2,5 cm

Sumber: olahan peneliti

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name
COARSE-GRAINED SOILS More than 50% retained on No.200 Sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction on No. 4 Sieve	Clean Gravels	Cu ≥ 4 and 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Well-graded gravel
		Less than 5% fines	Cu < 4 and/or Cc < 1 or Cc > 3	GP	Poorly graded gravel
		Gravels with Fines	Fines classify as ML or MH	GM	Silty Gravel
		More than 12% fines	Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No.4 sieve	Clean Sands	Cu ≥ 6 and 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Well-graded sand
		Less than 5% fines	Cu < 6 and/or Cc < 1 or Cc > 3	SP	Poorly graded sand
		Sands with Fines	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand
		More than 12% fines	Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand
FINE-GRAINED SOILS 50% or more passes the no. 200 Sieve	Silts and Clays Liquid limit less than 50	Inorganic	PI > 7 and plots on or above "A" line	CL	Lean clay
			PI < 4 and plots below "A" line	ML	Silt
		Organic	Liquid limit—oven dried < 0.75	OL	Organic clay
			Liquid limit—not dried	OL	Organic silt
	Silts and Clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay
			PI plots below "A" line	MH	Elastic silt
		Organic	Liquid limit—oven dried < 0.75	OH	Organic clay
			Liquid limit - not dried	OH	Organic silt
HIGHLY ORGANIC SOILS				PT	Peat

Gambar 4.3 Klasifikasi Tanah

Sumber: ASTM International. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes Unified Soil Classification System (USCS)*.
West Conshohocken. United States (2000).

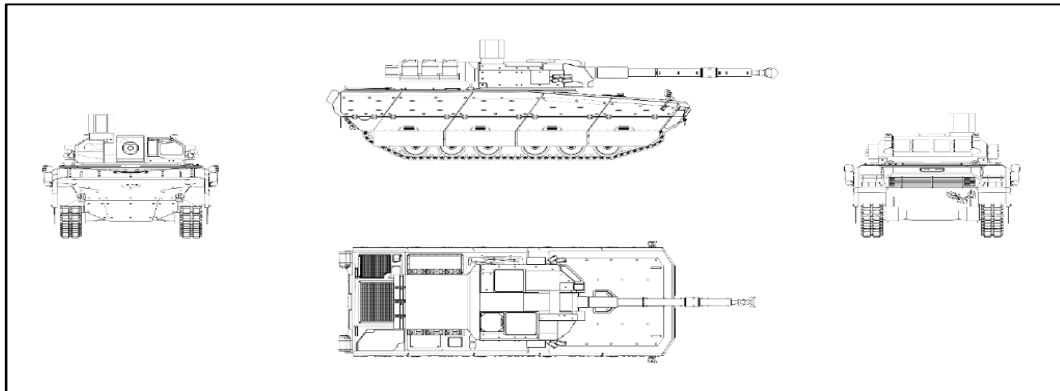
Tabel 4.2 Rentang dan nilai rata-rata RCI

Topografi, Kondisi Kelembaban Tinggi		
Simbol Tipe – Tipe Tanah	RCI (Rentan prediksi)	RCI (Rata – rata)
GW,GP		
SW,SP		
CH	46 – 146	97
GC		90
SC		88
SM – SC	66 – 98	82
MH	43 – 123	83
CL	39 – 117	78
SP – SM		74
GM		72
SM	12 – 126	69
ML	22 – 88	55
CL – ML	26 – 66	46
OL	49	49
OH	21 – 49	35
PT	41 – 51	46

Sumber: olahan peneliti

4.1.2 Deskripsi Data *Medium Tank*

Deskripsi Data *Medium Tank* terdiri dari model dan spesifikasi, *Engine*, Transmisi, *Torque Converter*, *Final Drive*, *Sproket*, *Idler*, *Track Link*, *road wheels*, *Ground clearance*, Berat *Medium Tank* dan *Ratio L/T* dan *L/B*



Technical Specifications

General

Power to Weight Ratio	20 Hp/ton
Engine	Diesel
Transmission	Fully Automatic
Crew	3 (Inc. Driver, Gunner, Commander)
Length	7 m
Width	3.2 m
Height Overall	2.7 m
Electrical System	24 V
Suspension System	Torsion Bar
Steering System	By Transmission
Powerpack Position	Rear

Gambar 4.4 Gambar dan Spesifikasi Teknik *Medium Tank*

Sumber: Laporan PT. Pindad

4.1.2.1 *Engine CAT C13 (711HP)*

Adapun *performance data* untuk *engine CAT C13 (711 HP)* sebagai berikut;

- | | | |
|----|-------------------------------|----------|
| a) | <i>Rated Power @ 2300 rpm</i> | 530,0 KW |
| b) | <i>Tolerance</i> | ±3% |
| c) | <i>Peak Torque @ 1300</i> | 2714 Nm |
| d) | <i>Tolerance</i> | ±3% |

e)	<i>BSFC Rated Speed (2300 rpm)</i>	221,7 g/kWh
f)	<i>BSFC Peak Torque (1300 rpm)</i>	199 g/kWh
g)	<i>Tolerance</i>	±6 g/kWh
h)	<i>Idle Speed</i>	700 rpm
i)	<i>High Idle Speed</i>	2410 rpm
j)	<i>Altitude Capability without forced derate</i>	1524 m
k)	<i>(at reference condition + 27°C)</i>	

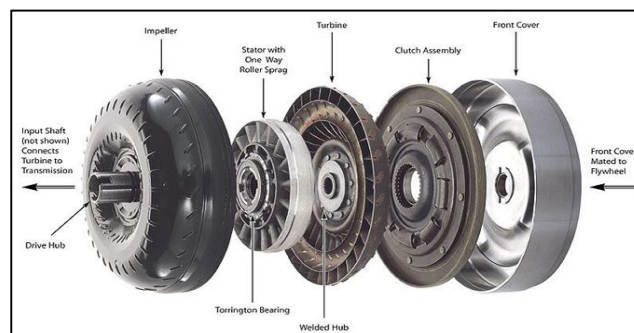
4.1.2.2 Transmisi CAT X30

Untuk *gear ratios transmisi* CAT X300 sebagai berikut;

a)	<i>Forward (First to Fourth)</i>	4.16:1 / 2.00:1 / 1.28:1 / 0.86:1
b)	<i>Reverse (First and Second)</i>	5.75:1 / 1.43:1
c)	<i>Total ratio coverage (including converter)</i>	10.88:1
d)	<i>Power take-off drive</i>	<i>Input driven at 1.08 x engine speed</i>

4.1.2.3 Torque Converter

Torque Converter adalah bagian dari *power pack* yang berfungsi secara hidrolis menghubungkan *engine* dengan *transmission* untuk menghindari hubungan mekanikal secara langsung untuk *ratio torque converter forward* 2.00:1, berikut gambarnya

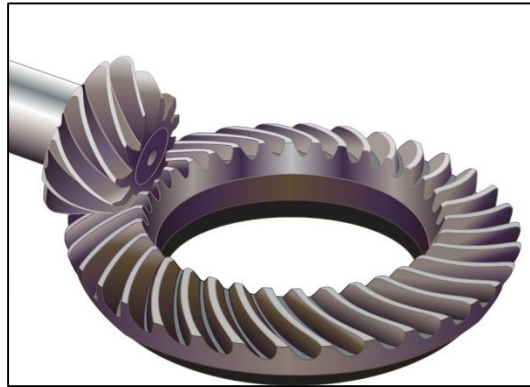


Gambar 4.5 Torque Converter Medium Tank

Sumber: Laporan PT. Pindad

4.1.2.4 *Final Drive*

Final drive adalah komponen dari *power train* sebagai penggerak akhir yaitu menuju *track*. Fungsinya adalah melipatgandakan *torque* yang paling akhir. *Ratio final drive* pada *Medium Tank* adalah 0,74 untuk semua gigi, gambar dari *final drive* sebagai berikut;

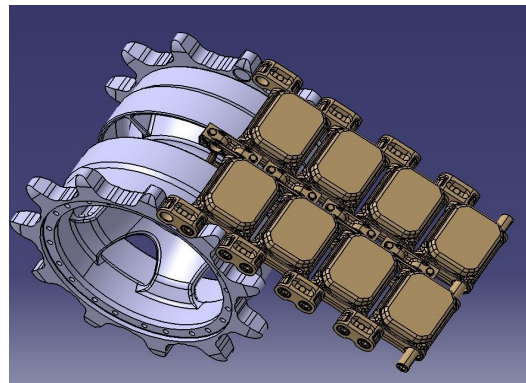


Gambar 4.6 *Final Drive Medium Tank*

Sumber: olahan peneliti

4.1.2.5 *Sproket*

Sproket adalah roda bergerigi yang berpasangan dengan *track* dan *idler* yang penggerak dari *final drive*. Diameter *Sproket* yang digunakan untuk *Medium Tank* adalah 0,651 m. Berikut adalah gambar *sproket Medium Tank*;

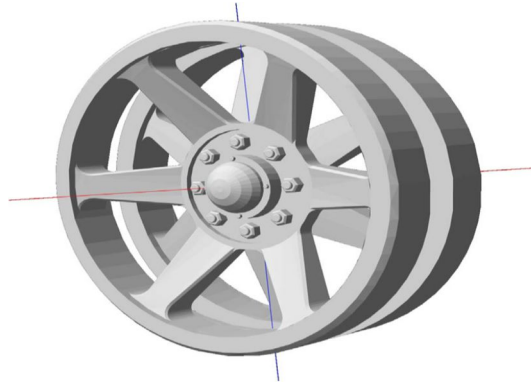


Gambar 4.7 *Sproket Medium Tank*

Sumber: Laporan PT. Pindad

4.1.2.6 *Idler*

Idler digunakan sebagai bagian dari mekanisme penggerak gesekan . Menghubungkan *sproket* dan *track* tanpa kebisingan, *Medium Tank* menggunakan *idler* dari karet pada permukaannya.

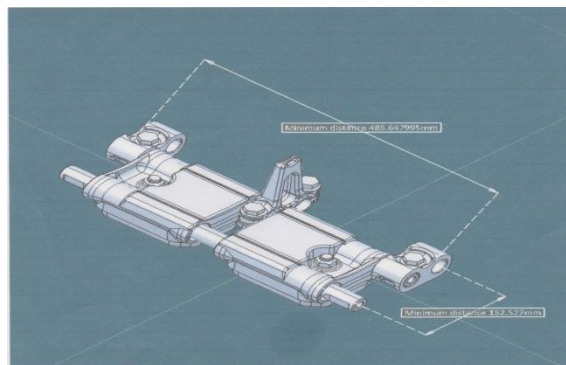


Gambar 4.8 *Idler Medium Tank*

Sumber: olahan peneliti

4.1.2.7 *Track Link*

Bradley Double Pin Track (Developed by BAE), FNSS menyarankan trek dan sistem suspensi yang akan digunakan pada kendaraan roda rantai *Medium Tank* Indonesia menggunakan *track* dan sistem suspensi yang digunakan pada *Bradley* yang dikembangkan oleh *BAE System*. *Bradley Double Pin Track* memiliki lebar adalah 0,48 m dan pitchnya adalah 0,152 m.



Gambar 4.9 *Track Link Medium Tank*

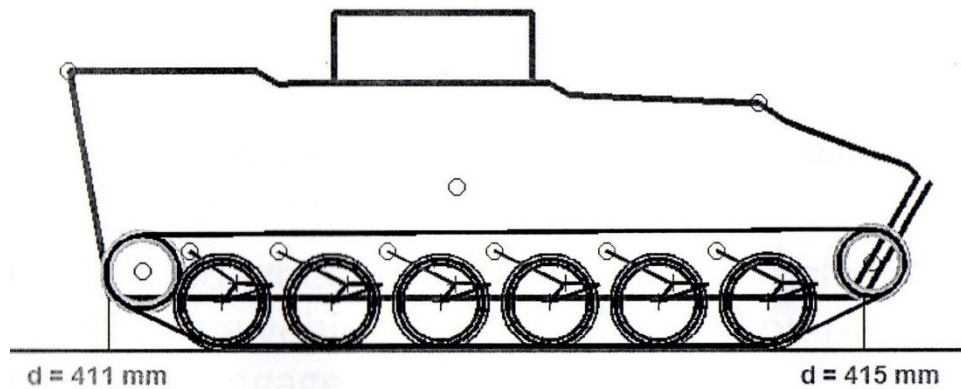
Sumber: Laporan PT. Pindad

4.1.2.8 Road Wheels

Jumlah *road wheels* yang di gunakan *Medium Tank* adalah sebanyak 12 *road wheels* (6 *road wheels* per sisi). Dengan diameter *wheels* adalah 0,6 m.

4.1.2.9 Ground Clearance

Ground clearance menentukan besarnya kemampuan mobil dalam menangani *terrain*, akan ditunjukkan sebagai berikut;



Gambar 4.10 Ground clearance Medium Tank

Sumber: Laporan PT. Pindad

4.1.2.10 Berat Medium Tank

Medium Tank Memiliki 3 kondisi berat yang diperhitungan,

- | | |
|------------------------|--------|
| a) Berat Kosong | 30 ton |
| b) Berat <i>Combat</i> | 32 ton |
| c) Berat Penuh | 35 ton |

4.1.2.11 *Ratio* L/T dan L/B

Menurut aturan yang biasa dipakai dalam mendesain kendaraan roda rantai dan berdasarkan pengalaman, ada *rasio* penting yang harus diperhatikan yaitu:

Nilai *rasio* L/T harus diantara 1,1 dan 1,8 hal ini akan mempengaruhi fungsi *steering* pada kendaraan. Dari desain *Medium Tank* Indonesia didapat:

L = Panjang trek yang kontak dengan tanah

L = 4.665 mm

T = Jarak antara center kedua trek (lebar kendaraan = 3.200 mm, dan lebar trek = 530 mm)

T = 3.200 mm – 530 mm
= 2.670 mm

Maka :

L / T = 4.665 / 2.670
= 1,7

L / T = harus diantara 1,1 s/d 1,8

L/T Medium Tank Indonesia adalah : 1,7 sehingga masih berada pada batas yang di rekomendasikan hal ini akan memudahkan steering/pengendalian kendaraan.

Nilai L / B disarankan tidak boleh lebih dari 8 hal ini bertujuan supaya trek terlepas dari jalurnya dapat meminimalisir.

Dari desain *Medium Tank* Indonesia didapat:

L = Panjang trek yang kontak dengan tanah

L = 4.665 mm

B = Lebar trek

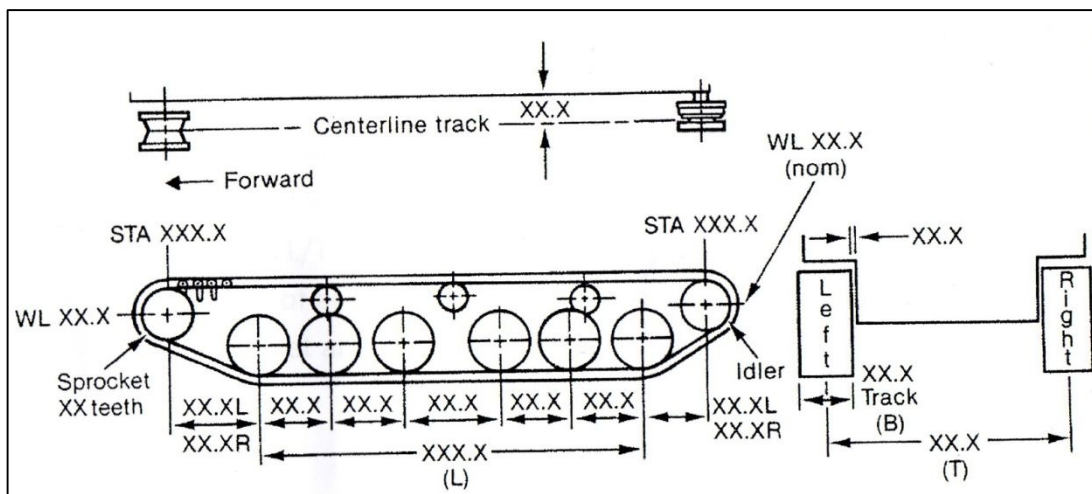
B = 530 mm

Maka :

$$L / B = 4.665 / 530$$

$$= 8,8$$

L/B Medium Tank Indonesia adalah : 8,8 nilai ini melebihi dari yang disarankan, setelah kami diskusikan dengan tim expert enjiniring suspensi dari FNSS hal ini masih dalam batas toleransi dan kemungkinan tidak akan berpengaruh banyak terhadap trek Medium Tank Indonesia.



Gambar 4.11 keterangan L/T dan L/B *Medium Tank*

Sumber: Laporan PT. Pindad

4.2 Analisis Parameter *Terrain* Dan Parameter *Medium Tank*

4.2.1 Analisis Parametrik *Terrain*

Dalam operasi *off-road*, berbagai jenis medan dengan perilaku berbeda, mulai dari pasir gurun, lumpur lunak hingga salju segar, mungkin ditemui. Ciri-ciri medan cukup sering memaksakan keterbatasan mobilitas kendaraan *off-road*.

4.2.1.1 Karakterisasi Hubungan *Shear stress* – *Normal Stress*

Pengetahuan yang memadai tentang sifat-sifat mekanik dari medan dan responsnya terhadap pemuatan terramekanik kendaraan disebut sebagai

keseimbangan plastik. Transisi dari keadaan plastik keseimbangan dengan aliran plastik menunjukkan kegagalan massa. Ada sejumlah kriteria yang diusulkan untuk kegagalan tanah dan lainnya bahan serupa. Salah satu kriteria yang paling banyak digunakan dan paling sederhana adalah Mohr-Coulomb. Mendalilkan bahwa materi pada suatu titik akan gagal jika tegangan geser pada titik itu dalam medium memenuhi kondisi tertentu berikut ini hubungan antara *shear stress* – *normal stress* pada terrain sesuai persamaan 2.1 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai Terrain

	c	σ	φ	$\tan \varphi$	τ
Terrain	(kPa)	(kN)	(deg)		(kN)
Tanah Liat	4,14	74,928	13°	0,231	21,448
Pasir Kering	1,04	74,928	28°	0,352	27,415

Sumber : olahan peneliti

Untuk Tanah Liat

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

Dimana:

$$\tau = \text{shear stress}$$

$$c = \text{cohesion}$$

$$\sigma = \text{normal stress}$$

$$\varphi = \text{angel internal shearing resistance}$$

Dik :

$$W = 30 \text{ ton} = 294,2 \text{ kN}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$c = 4,14 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 13^\circ$$

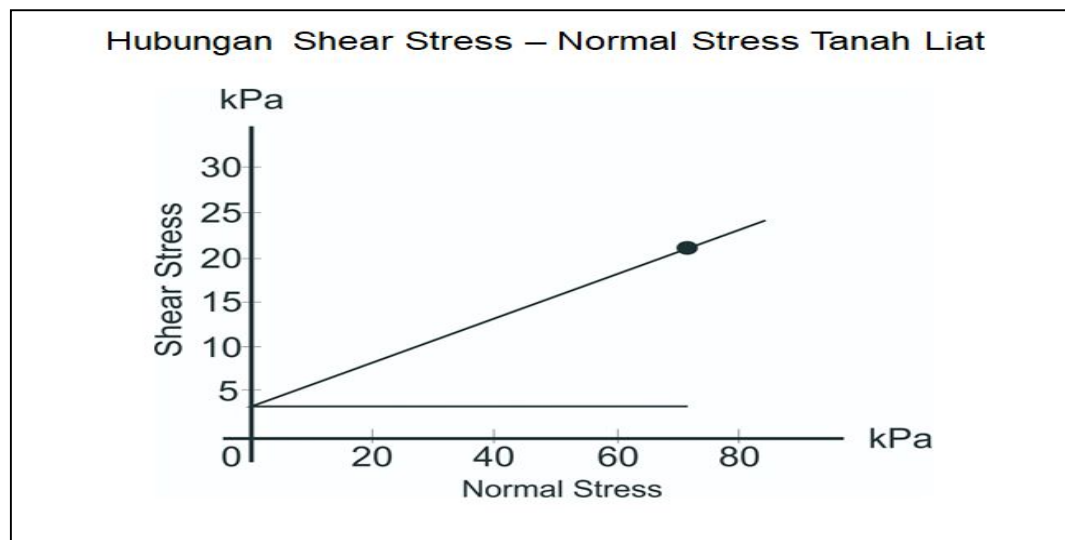
$$\sigma = \frac{W}{2 \times b \times l} = \frac{294,2}{2 \times 0,48 \times 4,09} = \frac{294,2}{2 \times 0,48 \times 4,09}$$

$$\sigma = 74,928 \text{ kN}$$

Penyelesaian :

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi = 4,14 + (74,928 \times \tan 13^\circ) = 4,14 + (74,928 \times 0,231)$$

$$\tau = 21,448 \text{ kN}$$



Gambar 4.12 Hubungan Shear Stress – Normal Stress Tanah Liat

Sumber : Olahan Peneliti

Untuk Pasir

Dik :

$$W = 30 \text{ ton} = 294,2 \text{ kN}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$c = 1,04 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 28^\circ$$

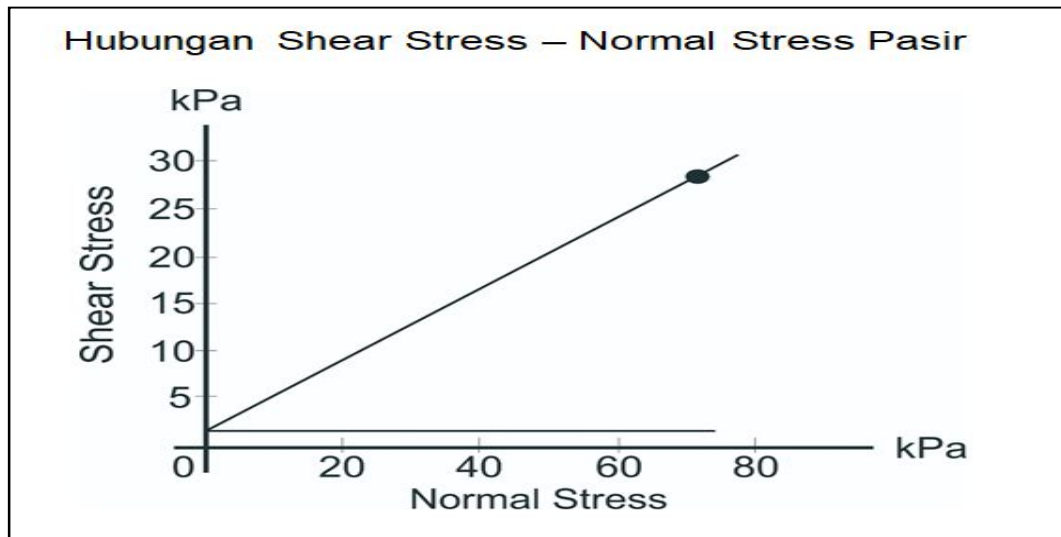
$$\sigma = \frac{W}{2 \times b \times l} = \frac{294,2}{2 \times 0,48 \times 4,09} = \frac{294,2}{2 \times 0,48 \times 4,09}$$

$$\sigma = 74,928 \text{ kN}$$

Penyelesaian :

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi = 1,04 + (74,928 \times \tan 28^\circ) = 1,04 + (74,928 \times 0,352)$$

$$\tau = 27,415 \text{ kN}$$



Gambar 4.13 Hubungan *Shear Stress* – *Normal Stress* Pasir

Sumber : Olahan Peneliti

4.2.1.2 Karakterisasi Hubungan *Pressure* – *Sinkage*

Setelah data *pressure* – *sinkage* dikumpulkan, harus benar dikarakterisasi sehingga dapat diintegrasikan ke dalam kerangka pilih untuk prediksi kinerja *Medium Tank*. Tergantung pada jenis, struktur, dan kondisi medan, berbagai fungsi matematika digunakan untuk mengkarakterisasi hubungan *pressure* – *sinkage*.

Jika medan dianggap homogen, hubungan *pressure* – *sinkage* mungkin mengambil salah satu bentuk yang ditunjukkan dan dapat ditandai dengan persamaan 2.2 berikut diusulkan oleh Bekker;

Tabel 4.4 Nilai Hubungan Pressure – Sinkage

	b	k_c	k_ϕ	n	p
Terrain	(m)	(kN/m ⁿ⁺¹)	(kN/m ⁿ⁺²)		(kPa)
Tanah Liat	0,48	13,19	692,15	0,5	71,963
Pasir Kering	0,48	0,99	1528,43	1,1	9,657

Sumber : Olahan Peneliti

Untuk Tanah Liat

$$p = (k_c/b + k_\phi)z^n = k_{eq}z^n$$

Dimana:

p = pressure

b = width of tracked

k_c = cohesive modulus of sinkage

k_ϕ = frictional modulus of sinkage

z = sinkage

n = sinkage exponent

Dik :

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$k_c = 13,19 \text{ kN/m}^{n+1}$$

$$k_\phi = 692,15 \text{ kN/m}^{n+2}$$

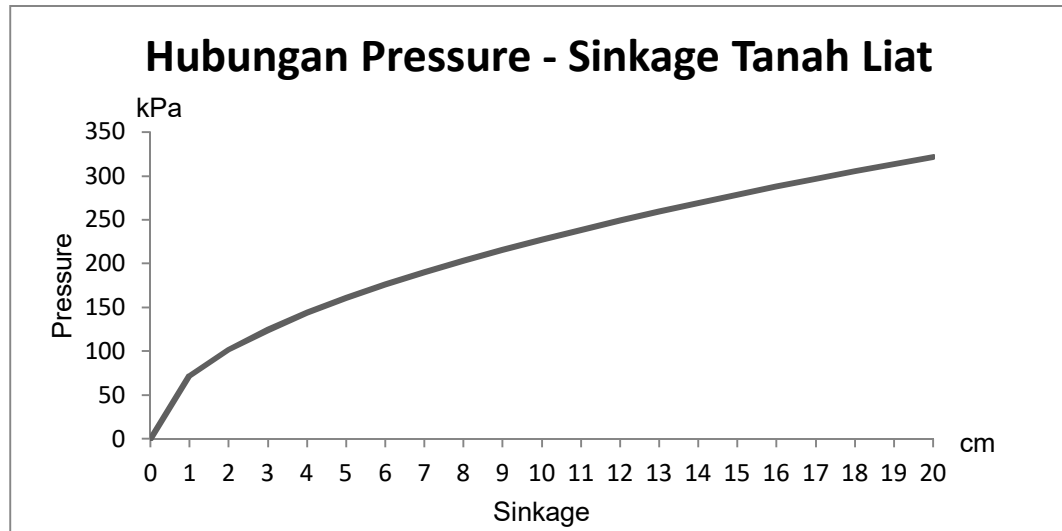
$$z = 0,01 \text{ m}$$

$$n = 0,5$$

Penyelesaian :

$$p = \left(\frac{13,19}{0,48} + 692,15 \right) 0,01^{0,5} = 719,63 \times 0,1$$

$$p = 71,963 \text{ kPa}$$



Gambar 4.14 Hubungan *Pressure* – *Sinkage* Tanah Liat

Sumber : Olahan Peneliti

Untuk Pasir

Dik :

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$k_c = 0,99 \text{ kN/m}^{n+1}$$

$$k_\phi = 1528,43 \text{ kN/m}^{n+2}$$

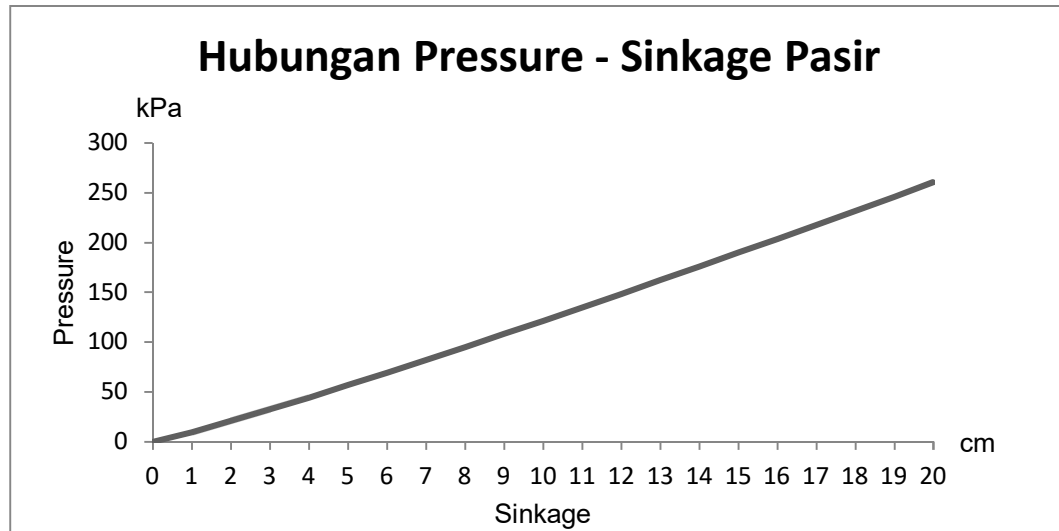
$$z = 0,01 \text{ m}$$

$$n = 1,1$$

Penyelesaian :

$$p = \left(\frac{0,99}{0,48} + 1528,43 \right) 0,01^{1,1} = 1530,493 \times 0,00631$$

$$p = 9,657 \text{ kPa}$$



Gambar 4.15 Hubungan *Pressure* – *Sinkage* Pasir

Sumber : Olahan Peneliti

4.2.1.3 Karakterisasi Hubungan *Shear Stress* – *Shear Displacement*

Ketika torsi diterapkan *sproket track*, aksi geser dimulai *vehicle running gear – terrain interface*. Untuk memprediksi *thrust – slip* kendaraan, penjelasan *shear stress – shear displacement* menjadi kebutuhan medan.

Untuk pasir lepas, tanah liat jenuh, salju, dan sebagian besar distribusi tanah, hubungan *shear stress – shear displacement* menunjukkan karakteristiknya. Tegangan geser awalnya meningkat dengan cepat peningkatan perpindahan geser, dan kemudian mendekati nilai konstan dengan peningkatan lebih lanjut dalam *shear displacement*. Jenis hubungan *shear stress – shear displacement* ini dapat dijelaskan oleh fungsi eksponensial dari persamaan 2.3 dan 2.4 berikut yang diusulkan oleh Janosi dan Hanamoto;

Tabel 4.5 Nilai Hubungan *Shear Stress* – *Shear Displacement*

Terrain	τ_{max} (kPa)	K (cm)	j (cm)	$exp^{-j/K}$	τ (kPa)
Tanah Liat	21,448	0,6	1	0,188875603	17,389
			5	0,000240369	21,433
			10	5,77775E – 08	21,438
			15	1,38879E – 11	21,438
			20	3,33824E – 15	21,438
Pasir Kering	40,880	2,5	1	0,670320	13,477
			5	0,135335	35,347
			10	0,018316	40,131
			15	0,002479	40,779
			20	0,000335	40,866

Sumber : olahan peneliti

Untuk Tanah Liat

$$\tau = (\tau_{max})(1 - exp^{-j/K})$$

Dimana:

τ_{max} = maximum shear stress

j = shear displacement

K = shear deformation modulus

$$\tau_{max} = c + \sigma \tan \varphi$$

Dik :

$$\tau_{max} = 21,448 \text{ kN}$$

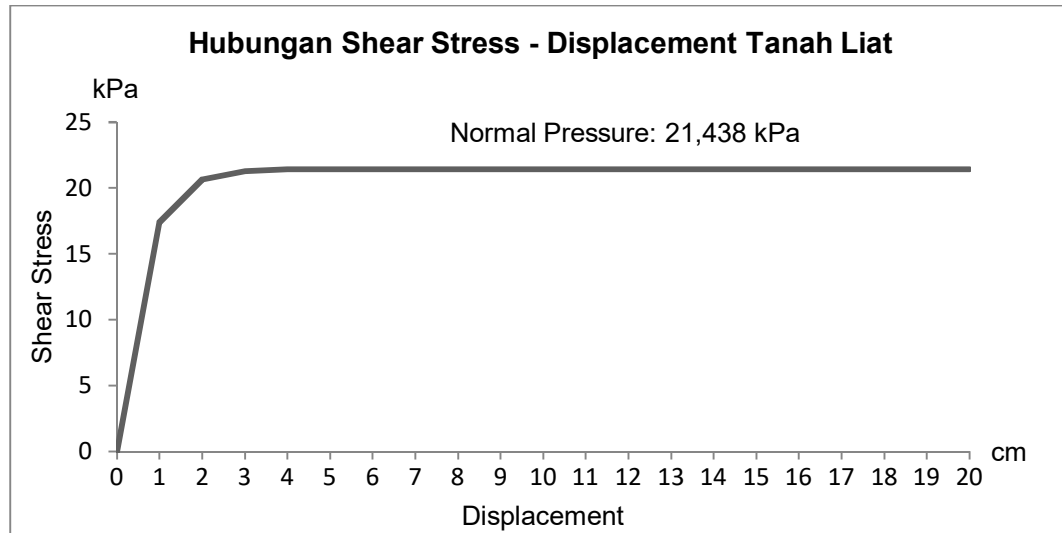
$$j = 1 \text{ cm}$$

$$K = 0,6 \text{ cm}$$

Penyelesaian :

$$\tau = (21,448)(1 - \exp^{-1/0,6}) = (21,448)(1 - 0,188875603) = 21,448 \times 0,811124397$$

$$\tau = 17,389 \text{ kPa}$$



Gambar 4.16 Hubungan *Shear Stress* – *Shear Displacement* Tanah Liat

Sumber : Olahan Peneliti

Untuk Pasir

Dik :

$$\tau_{max} = 40,880 \text{ kN}$$

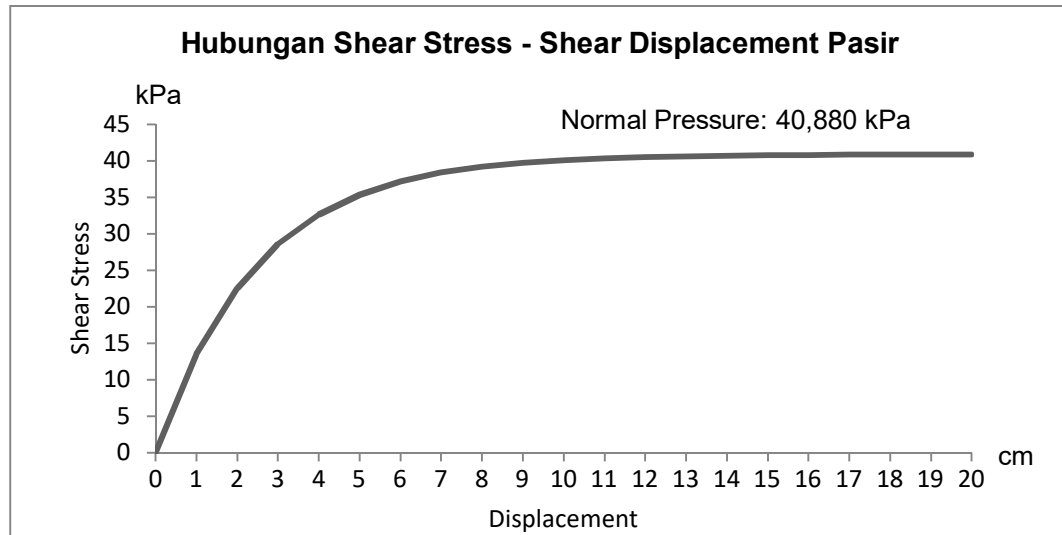
$$j = 1 \text{ cm}$$

$$K = 2,5 \text{ cm}$$

Penyelesaian :

$$\tau = (40,880)(1 - \exp^{-1/2,5}) = (40,880)(1 - 0,670320) = 40,880 \times 0,32968$$

$$\tau = 13,477 \text{ kPa}$$



Gambar 4.17 Hubungan *Shear Stress* – *Shear Displacement* Pasir

Sumber : Olahan Peneliti

4.2.2 Analisis Parametrik *Medium Tank*

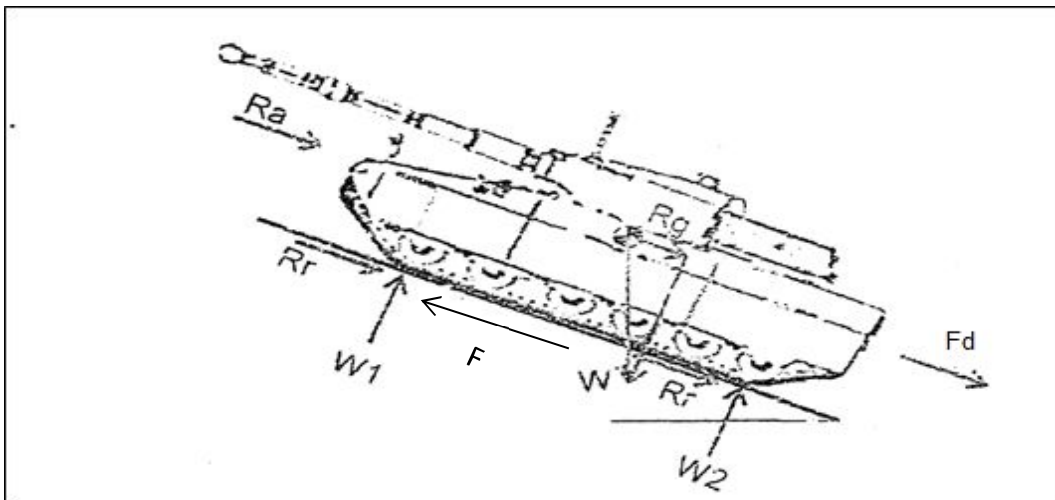
Bergantung pada persyaratan fungsional, kriteria yang berbeda digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kinerja berbagai jenis kendaraan *off-road*. Untuk *Medium Tank*, fungsi utamanya adalah untuk melewati medan operasi. Ini mungkin ditandai dengan rasio *drawbar pull* pada berat kendaraan, *drawbar horsepower*, dan efisiensi *drawbar*. Untuk transportasi lintas negara kendaraan, produktivitas dan efisiensi transportasi sering digunakan sebagai dasar kriteria untuk mengevaluasi kinerja mereka. Untuk kendaraan militer, kecepatan operasi maksimum yang layak antara dua titik tertentu di area tertentu dapat digunakan sebagai kriteria untuk evaluasi mobilitas.

Meskipun kriteria yang berbeda digunakan untuk menilai kinerja yang berbeda jenis kendaraan *off-road*, ada persyaratan dasar umum untuk semua lintas negara kendaraan, yaitu mobilitas di medan lunak. Mobilitas dalam arti luas mengacu pada kinerja kendaraan dalam kaitannya dengan medan lunak, negosiasi hambatan dan penghindaran, kualitas berkendara di atas medan

yang kasar, dan sungai. Performa di medan lunak merupakan masalah mendasar pada kendaraan mobilitas, dan analisis rinci tentang hubungan antara kinerja kendaraan, parameter desain kendaraan, dan medan, oleh karena itu, pentingnya memahami performanya.

4.2.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Performa *Medium Tank*

Total Resistance merupakan jumlah keseluruhan dari seluruh beban dan hambatan yang terjadi pada kendaraan *Medium Tank* PT Pindad pada persamaan 2.5, yaitu diantaranya:



Gambar 2.32 Gaya yang bekerja pada Kendaraan *Tracked*

$$F = (R_a + R_r + F_d \pm R_g)$$

Dimana:

$F = Thrust$

$R_a = Aerodinamic Resistance$

$R_r = Rolling Resistance$

$R_g = Gradient Resistance$

$F_d = Drawbarpull$

a. Aerodinamic Resistance (R_a)

Gaya tahan terhadap angin dari luar berupa *Drag Pressure* dan *skin friction* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, kecepatan kendaraan, bentuk kendaraan, *frontal area* dan kondisi lingkungan berikut persamaan 2.6 yang digunakan;

$$R_a = 1/2 \times \rho \times C_d \times A \times v^2$$

Dimana:

R_a = Aerodinamic Resistance (N)

ρ = Air Density (kg/m^3)

C_d = Coeficient of drag

A = Vehicle frontal area (m^2)

v = Vehicle velocity (ms^{-1})

Dik:

$$\rho = 1,255 \text{ kg/m}^3$$

$$C_d = 1$$

$$A = 3 \text{ m}^2$$

$$v = 70 \text{ km/h} = 14.29 \text{ m/s}$$

Penyelesaian :

$$R_a = 1/2 \times 1,255 \times 1 \times 3 \times 14.29^2 = 384,414 \text{ N}$$

$$R_a = 0,384 \text{ kN}$$

b. Rolling Resistance (R_r)

Rolling Resistance pada Tank digolongkan kedalam *Track rolls* yang berhubungan dengan, Desain jumlah *Pin Joint*, *Track Tension* dan Diameter *Road wheel* berikut persamaan 2.7 yang digunakan;

$$R_r = C_{rr} \times W$$

Dimana:

R_r = Rolling Resistance

C_{rr} = Specific Rolling Resistance (Track Vehicle, Double, Rubber – bushed pins)

W = Weight Tank

Dik:

$$C_{rr} = 0.03 - 0.05 = 0,04$$

$$W = 30 \text{ ton} = 294200 \text{ N}$$

Penyelesaian :

$$R_r = 0.04 \times 294200 = 11768 \text{ N}$$

$$R_r = \mathbf{11,768 \text{ kN}}$$

c. Gradient Resistance (R_g)

Gaya tahanan terhadap kondisi jalan tanjakan, pada persamaan 2.8.

$$R_g = W \times \sin \theta$$

Dimana:

R_g = Gradient Resistance

W = Weight Tank

θ = Sudut Tanjakan

Dik:

$$\theta = 60\% = 31^\circ$$

$$W = 30 \text{ ton} = 294200 \text{ N}$$

Penyelesaian :

$$R_g = 294200 \times \sin 31^\circ = 294200 \times 0,515 = 151513 \text{ N}$$

$$R_g = \mathbf{151,513 \text{ kN}}$$

4.2.2.2 Thrust (Tractive Effort)

Thrust F yang ditentukan oleh karakteristik *power plant* dan transmisi dijelaskan dengan persamaan 2.9 sebagai berikut;

$$F = \frac{M_e \xi_\theta \eta_t}{r}$$

Dimana:

$F = \text{Thrust}$

$M_e = \text{engine torque}$

$\xi_o = \text{overall gear ratio}$

$\eta_t = \text{transmission efficiency}$

$r = \text{radius sproket}$

Dik :

$M_e = 2714 \text{ Nm (1300 rpm engine)} = 11290 \text{ Nm (313 rpm transmisi)}$

$\xi_o = 6,16 (4,16 \times 2 \times 0,74)$

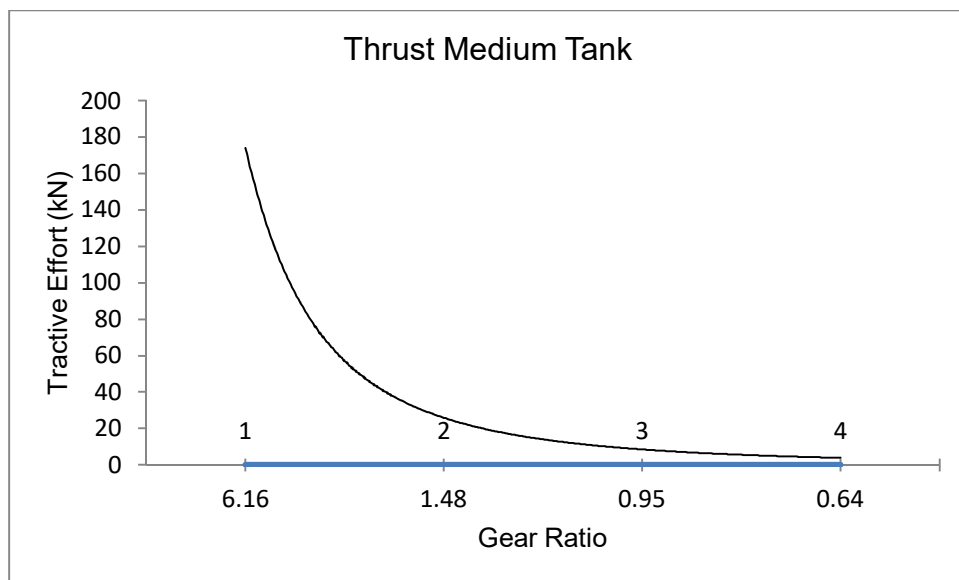
$\eta_t = 0,88$

$r = 0,3255 \text{ m}$

Penyelesaian :

$$F = \frac{11290 \times 6,16 \times 0,88}{0,3255} = \frac{61200,832}{0,3255} = 187,927 \text{ N}$$

$F = 187,927 \text{ kN}$



Gambar 4.18 Hubungan *Tractive Effort* – *Gear Ratio* Medium Tank

Sumber : Olahan Peneliti

Speed V kendaraan *tracked* yang sesuai ditentukan oleh persamaan

2.10 dijelaskan sebagai berikut;

$$V = \frac{n_e r}{\xi_o} (1 - i)$$

Dimana:

$V =$ *actual forward speed of a vehicle*

$n_e =$ *engine speed*

$r =$ *radius sproket*

$\xi_o =$ *overall gear ratio*

$i =$ *slip*

Dik :

$$n_e = 1300 \text{ (rpm engine)} = 422 \text{ (rpm sproket)}$$

$$r = 0,3255 \text{ m}$$

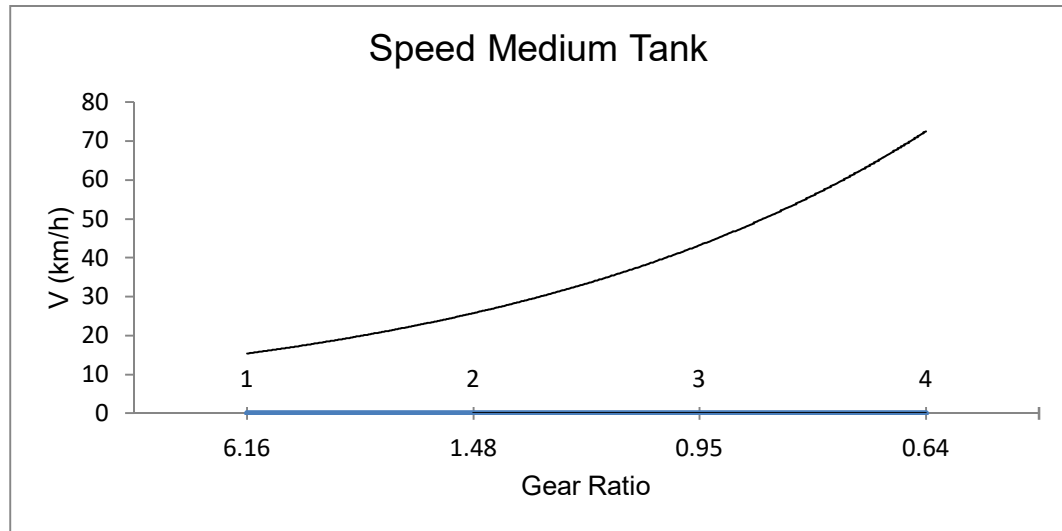
$$\xi_o = 3,07 \text{ (} 4,16 \times 0,74 \text{)}$$

$$i = 3\% \text{ (} 2 - 5\% \text{)}$$

Penyelesaian :

$$V = \frac{(1300 \times 2\pi/60)}{3,07} 0,3255 \times (1 - 3\%) = \frac{422 \times 0,252}{60} (0,97)$$

$$V = 14 \text{ km/h}$$



Gambar 4.19 Hubungan Speed – Gear Ratio Medium Tank

Sumber : Olahan Peneliti

4.2.2.3 Drawbar Pull dan Drawbar Power

Kinerja drawbar adalah sangat penting, karena mewakili kemampuan *Medium Tank* untuk tarik atau dorong berbagai jenis mesin yang berfungsi, termasuk peralatan pertanian dan peralatan konstruksi. *Drawbar pull* F_d , adalah gaya yang tersedia pada drawbar, dan sama dengan perbedaan antara upaya *traktif effort* F yang dikembangkan oleh roda gigi berjalan dan hambatan yang dihasilkan gaya $\sum R$ yang bekerja pada kendaraan sesuai dengan persamaan 2.11, dijelaskan sebagai berikut;

$$F_d = F - \sum R$$

Dimana:

$$F_d = \text{drawbarpull}$$

$$F = \text{thrust}$$

$$\sum R = \text{sum resistance}$$

Dik :

$$F = 187,927 \text{ kN}$$

$$\sum R = 0,384 + 11,768 = 12,152 \text{ kN}$$

Penyelesaian :

$$F_d = 187,927 - 12,152$$

$$F_d = 175,775 \text{ kN}$$

Produk *drawbar pull* F_d dan kecepatan maju aktual kendaraan V disebut sebagai *drawbar power* P_d . Ini mewakili potensi produktivitas kendaraan, yaitu kesesuaian pada persamaan 2.12 dimana laju pekerjaan produktif, seperti membajak atau melibas, dapat diselesaikan. Drawbar Power P_d diungkapkan sebagai berikut;

$$P_d = F_d V$$

Dimana:

$$P_d = \text{drawbar pull}$$

$$F_d = \text{drawbar power}$$

$$V = \text{actual forward speed of a vehicle}$$

Dik :

$$F_d = 175,775 \text{ kN}$$

$$V = 14 \text{ km/h} = 3,8 \text{ m/s}$$

Penyelesaian :

$$P_d = 175,775 \times 3,8 = 667,945 \text{ kW} = 895,72 \text{ hp}$$

4.2.2.4 Tractive Efficiency (Drawbar)

Efisiensi traksi η_d adalah rasio *drawbar power* P_d terhadap *Engine Power* P dijelaskan pada persamaan 2.13 sebagai berikut;

$$\eta_d = \frac{P_d}{P} = \frac{F_d V}{P} = \frac{(F - \sum R) V_t (1 - i)}{\frac{F V_t}{\eta_t}} = \frac{F_d}{F} (1 - i) \eta_t = \eta_m \eta_s \eta_t$$

Dimana:

$$\eta_d = \text{tractive (drawbar) efficiency overall}$$

$\eta_m = \text{efficiency of motion}$

$\eta_s = \text{slip efficiency}$

$\eta_t = \text{transmission efficiency}$

Dik :

$$\eta_m = \frac{F_d}{F} = \frac{175,775}{187,927} = 0,9353 = 93,53\%$$

$$\eta_s = (1 - i) = (1 - 0,03) = 0,97 = 97\%$$

$$\eta_t = 0,88 = 88\%$$

Penyelesaian :

$$\eta_d = 93,53\% \times 97\% \times 88\% = 0,79,84 = 79,84\%$$

4.3 Analisis Parametrik Interaksi *Terrain* Dengan *Medium Tank*

Lintasan dan roda merupakan dua bentuk dasar perlengkapan lari untuk *off road* kendaraan. Studi tentang mekanisme trek dan roda atas medan yang tidak siap, oleh karena itu, sangat penting. Tujuannya adalah untuk menetapkan metode yang andal untuk memprediksi kinerja mereka terkait parameter desain dan karakteristik terainnya. Salah satu metode sebelumnya untuk analisis parametrik kinerja sistem trek dikembangkan oleh Bekker. Dalam metode ini, diasumsikan bahwa trek yang bersentuhan dengan medan mirip dengan pijakan yang kaku. Membuat penggunaan hubungan tekanan-tenggelam dari medan yang diukur oleh bevameter teknik yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, melacak sinkage dan gerak resistensi karena memadatkan medan diperkirakan. Berdasarkan geser hubungan perpindahan tegangan-geser dan kekuatan geser medan, hubungan dorong-selip dan traksi maksimum sistem trek ditentukan.

4.3.1 Analisis *Motion Resistance of a Track*

Seperti disebutkan di atas, dalam metode yang dikembangkan oleh Bekker, trek diasumsikan mirip dengan pijakan yang kaku. Reaksi normal dilakukan di trek oleh medan kemudian dapat disamakan dengan yang di bawah plat sinkage pada saat yang sama mendalam dalam uji tekanan-tenggelam. Jika pusat gravitasi kendaraan adalah terletak di titik tengah area kontak trek, distribusi tekanan normal dapat dianggap seragam. Di sisi lain tangan, jika pusat gravitasi kendaraan terletak di depan atau di belakang titik tengah area kontak trek, distribusi penurunan bentuk trapesium dapat diasumsikan.

Menggunakan persamaan 2.14 *pressure – sinkage* yang diusulkan oleh Bekker untuk *track* dengan tekanan kontak yang seragam, penyimpangan *sinkage* dan *resistance compaction* sesuai persamaan 2.15, dijelaskan;

Untuk Pasir

$$z_0 = \left(\frac{p}{K_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{W/2lb}{K_c/b + k_\phi} \right)^{1/n}$$

Dimana:

$z_0 =$ sinkage

$W =$ weight vehicle

$l =$ length track

$b =$ width track

$K_c =$ pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

$k_\phi =$ pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

$n =$ exponent of sinkage

Dik :

$W = 294,2 \text{ kN}$

$l = 4,09 \text{ m}$

$b = 0,48 \text{ m}$

$K_c = 0,99$

$k_\phi = 1528,43 \text{ kN/m}$

$n = 1,1$

Penyelesaian :

$$z_0 = \left(\frac{W/2lb}{K_c/b + k_\phi} \right)^{1/n}$$

$$z_0 = \left(\frac{294,2/2 \times 4,09 \times 0,48}{0,99/0,48 + 1528,43} \right)^{1/1,1}$$

$$z_0 = \left(\frac{74,92}{1530,49} \right)^{1/1,1}$$

$z_0 = 0,06 \text{ m}$

Untuk Tanah Liat

Dik :

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$K_c = 13,19$$

$$k_\varphi = 692,15 \text{ kN/m}$$

$$n = 0,5$$

Penyelesaian :

$$z_0 = \left(\frac{W/2lb}{K_c/b + k_\varphi} \right)^{1/n}$$

$$z_0 = \left(\frac{294,2/2 \times 4,09 \times 0,48}{13,19/0,48 + 692,15} \right)^{1/0,5}$$

$$z_0 = \left(\frac{74,92}{1530,49} \right)^{1/0,5}$$

$$z_0 = \mathbf{0,01 \text{ m}}$$

Untuk Pasir

$$R_c = 2bl(k_c/b + k_\varphi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right)$$

Dimana:

$R_c =$ resistance due to terrain compaction

$l =$ length track

$b =$ width track

$K_c =$ pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

$k_\varphi =$ pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

$n =$ exponent of sinkage

$z_0 =$ sinkage

Dik :

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$K_c = 0,99$$

$$k_\varphi = 1528,43 \text{ kN/m}$$

$$n = 1,1$$

Penyelesaian :

$$R_c = 2bl(k_c/b + k_\varphi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right)$$

$$R_c = 2 \times 0,48 \times 4,09(0,99/0,48 + 1528,43) \left(\frac{0,064^{1,1+1}}{1,1+1} \right) = 6009,325 \times 0,0015$$

$$R_c = 9,023 \text{ kN}$$

Drawbarpull F_d pada 20% slip (sebagaimana ditentukan oleh hubungan antara *vehicle – terrain*) adalah sama dengan *thrust* F persamaan 2.9 pada 20% slip dikurang dengan *resistance* R_c .

$$F_d = F - R_c$$

$$F_d = 155,607 - 9,023$$

$$F_d = 146,584 \text{ kN}$$

Untuk Tanah Liat

Dik :

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$K_c = 13,19$$

$$k_\varphi = 692,15 \text{ kN/m}$$

$$n = 0,5$$

Penyelesaian :

$$R_c = 2bl(k_c/b + k_\varphi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right)$$

$$R_c = 2 \times 0,48 \times 4,09(13,19/0,48 + 692,15) \left(\frac{0,0108^{0,5+1}}{0,5+1} \right) = 2825,55 \times 0,00075$$

$$\mathbf{R_c = 2,126 kN}$$

Drawbarpull F_d pada 20% slip (sebagaimana ditentukan oleh hubungan antara *vehicle – terrain*) adalah sama dengan *thrust* F persamaan 2.9 pada 20% slip dikurang dengan resistance R_c .

$$F_d = F - R_c$$

$$F_d = 83,559 - 2,126$$

$$\mathbf{F_d = 81,433 kN}$$

4.3.2 Analisis Tractive Effort and Slip of a Track

Tractive Effort track dihasilkan oleh gesernya *terrain*. *Maximum tractive effort* F_{max} , yang dapat dikembangkan oleh *track* ditentukan oleh kekuatan geser dari *terrain*, dan area kontak seperti persamaan 2.16 sebagai berikut;

Untuk Pasir

$$F_{max} = \tau A = (c + \sigma \tan \varphi) A = 2blc + W \tan \varphi$$

Dimana:

$$F_{max} = \text{maximum tractive effort}$$

$$W = \text{weight vehicle}$$

$$b = \text{width track}$$

$$l = \text{length track}$$

$$c = \text{cohesion}$$

$$\varphi = \text{angel internal shearing resistance}$$

Dik :

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$b = 0,48$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$c_{sand} = 1,04$$

$$\varphi_{sand} = 28^\circ$$

Penyelesaian :

$$F_{max} = 2 \times 0,48 \times 4,09 \times 1,04 + 294,2 \tan 28^\circ$$

$$F_{max} = \mathbf{160,51 \text{ kN}}$$

Untuk Tanah Liat

Dik :

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$b = 0,48$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$c_{sand} = 1,04$$

$$\varphi_{sand} = 28^\circ$$

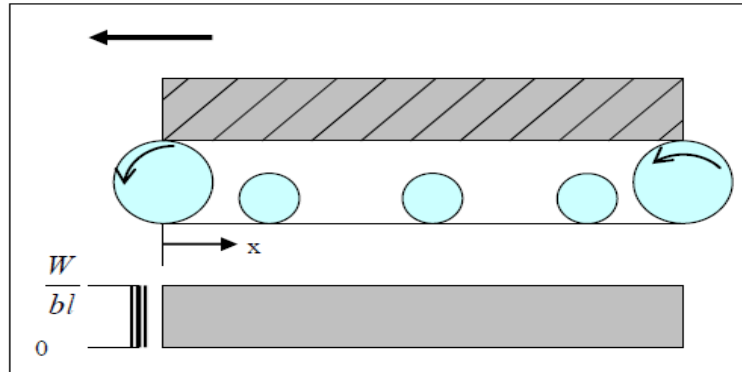
Penyelesaian :

$$F_{max} = 2 \times 0,48 \times 4,09 \times 4,14 + 294,2 \tan 13^\circ$$

$$F_{max} = \mathbf{84,176 \text{ kN}}$$

4.3.2.1 Analisis Distribusi *Normal Pressure* Seragam

Analisis Distribusi Normal Pressure Seragam dijelaskan pada persamaan 2.17, sebagai berikut;



Gambar 4.20 Distribusi *normal pressure* yang seragam

Sumber : Fahim F. *et al.* *Effect of Normal Pressure on Drawbar Pull of Tracked Vehicle on Soft Grounds*. Mechanical Eng. Dept., College of Engineering Al-Mustansiriya University Baghdad. Iraq (2007).

Untuk Pasir

$$F = (2blc + W \tan \varphi) \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-i/K}) \right]$$

Dimana:

F = tractive effort

W = weight vehicle

b = the width

l = length track

c_{sand} = cohesion

φ = angle internal shearing resistance

i = slip

K = pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

Dik:

$W = 294,2 \text{ kN}$

$b = 0,48$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$c_{sand} = 1,04$$

$$\varphi_{sand} = 28^\circ$$

$$K_{sand} = 0,025 \text{ m}$$

$$i = 5\%$$

Penyelesaian :

$$F = (2blc + W \tan \varphi) \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-i/K}) \right]$$

$$F_{sand} = (2 \times 0,48 \times 4,09 \times 1,04 + 294,2 \tan 28^\circ) \left[1 - \frac{0,025}{0,05 \times 4,09} (1 - e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,025}) \right]$$

$$F_{sand} = 160,51(1 - 0,1222)$$

$$\mathbf{F_{sand} = 140,85 \text{ kN}}$$

Untuk Tanah Liat

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$b = 0,48$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$c_{clay} = 4,14$$

$$\varphi_{clay} = 13^\circ$$

$$K_{clay} = 0,006 \text{ m}$$

$$i = 5\%$$

Penyelesaian :

$$F_{clay} = (2blc + W \tan \varphi) \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-i/K}) \right]$$

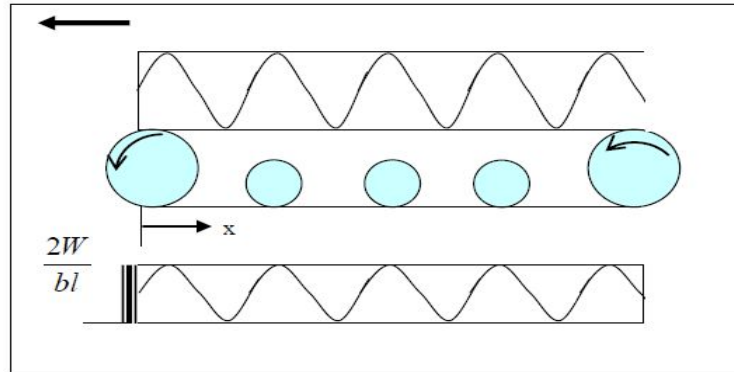
$$F_{clay} = (2 \times 0,48 \times 4,09 \times 4,14 + 294,2 \tan 13^\circ) \left[1 - \frac{0,006}{0,05 \times 4,09} (1 - e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,0006}) \right]$$

$$F_{clay} = 84,176 (1 - 0,02934)$$

$$\mathbf{F_{clay} = 81,71 \text{ kN}}$$

4.3.2.2 Analisis Distribusi *Normal Pressure* Sinusoidal

Analisis Distribusi *Normal Pressure* Sinusoidal dijelaskan pada persamaan 2.18, sebagai berikut;



Gambar 4.21 Distribusi *normal pressure* sinusoidal

Sumber : Fahim F. *et al.* *Effect of Normal Pressure on Drawbar Pull of Tracked Vehicle on Soft Grounds*. Mechanical Eng. Dept., College of Engineering Al-Mustansiriya University Baghdad. Iraq (2007).

Untuk Pasir

$$F_{sand} = W \tan \varphi \left[1 + \frac{K}{il} (e^{-il/K} - 1) + \frac{K(e^{-il/K} - 1)}{il(1 + 4n^2 K^2 \pi^2 / i^2 l^2)} \right]$$

Dimana:

W = weight vehicle

φ = angel internal shearing resistance

i = slip

K = pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

l = length track

π = konstanta

Dik:

$W = 294,2 \text{ kN}$

$\varphi_{sand} = 28^\circ$

$$i = 5\%$$

$$K_{sand} = 0,025 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

$$n_{sand} = 1,1$$

Penyelesaian :

$$F_{sand} = 294,2 \tan 28^\circ \left[1 + \frac{0,025}{0,05 \cdot 4,09} (e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,025} - 1) + \frac{0,025 (e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,025} - 1)}{0,05 \cdot 4,09 (1 + 4 \cdot 1,1^2 \cdot 0,025^2 \cdot 3,14^2 / 0,05^2 \cdot 4,09^2)} \right]$$

$$F_{sand} = 156,43 \left(0,877 + \frac{-0,0249}{0,350} \right)$$

$$F_{sand} = 126,152 \text{ kN}$$

Untuk tanah liat

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$\varphi_{clay} = 13^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{clay} = 0,006 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

$$n_{clay} = 0,5$$

Penyelesaian :

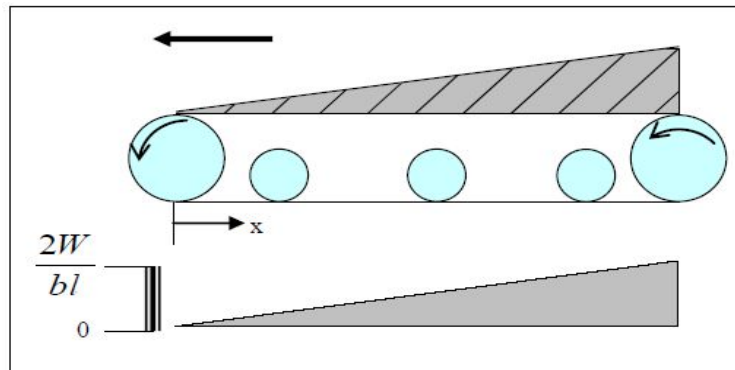
$$F_{clay} = 294,2 \tan 13^\circ \left[1 + \frac{0,006}{0,05 \cdot 4,09} (e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,006} - 1) + \frac{0,006 (e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,006} - 1)}{0,05 \cdot 4,09 (1 + 4 \cdot 0,5^2 \cdot 0,006^2 \cdot 3,14^2 / 0,05^2 \cdot 4,09^2)} \right]$$

$$F_{clay} = 67,92 \left(0,9706 + \frac{-0,006}{0,206} \right)$$

$$F_{clay} = 63,952 \text{ kN}$$

4.3.2.3 Analisis *Normal Pressure* meningkat secara linear dari depan kendaraan

Analisis *normal pressure* meningkat secara linear dari depan kendaraan dijelaskan pada persamaan 2.19, sebagai berikut;



Gambar 4.22 *Normal Pressure* meningkat secara linear dari depan kendaraan

Sumber : Fahim F. *et al.* *Effect of Normal Pressure on Drawbar Pull of Tracked Vehicle on Soft Grounds*. Mechanical Eng. Dept., College of Engineering Al-Mustansiriya University Baghdad. Iraq (2007).

Untuk Pasir

$$F = W \tan \varphi \left[1 - 2 \left(\frac{K}{il} \right)^2 \left(1 - e^{-i/K} - \frac{il}{K} e^{-il/K} \right) \right]$$

Dimana:

W = weight vehicle

φ = angel internal shearing resistance

i = slip

K = pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

$l = \text{length track}$

$\pi = \text{konstanta}$

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$\varphi_{\text{sand}} = 28^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{\text{sand}} = 0,025 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

Penyelesaian :

$$F_{\text{sand}} = 294,2 \tan 28^\circ \left[1 - 2 \left(\frac{0,025}{0,05.4,09} \right)^2 \left(1 - e^{-0,05.4,09/0,025} - \frac{0,05.4,09}{0,025} e^{-0,05.4,09/0,025} \right) \right]$$

$$F_{\text{sand}} = 156,43 (0,97011 \times 0,8623)$$

$$\mathbf{F_{\text{sand}} = 130,868 \text{ kN}}$$

Untuk Tanah Liat

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$\varphi_{\text{clay}} = 13^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{\text{clay}} = 0,006 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

Penyelesaian :

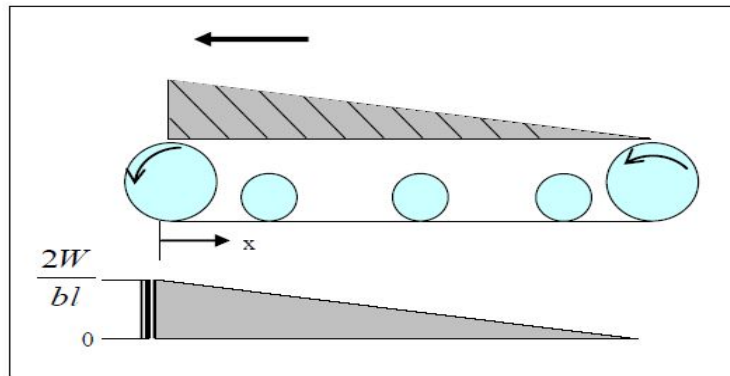
$$F_{\text{clay}} = 294,2 \tan 13^\circ \left[1 - 2 \left(\frac{0,006}{0,05.4,09} \right)^2 \left(1 - e^{-0,05.4,09/0,006} - \frac{0,05.4,09}{0,006} e^{-0,05.4,09/0,006} \right) \right]$$

$$F_{\text{clay}} = 67,92(0,998 \times 0,9997)$$

$$\mathbf{F_{\text{clay}} = 67,788 \text{ kN}}$$

4.3.2.4 Analisis *Normal Pressure* menurun secara linear dari belakang ke depan

Analisis *normal pressure* menurun secara linear dari belakang ke depan dijelaskan pada persamaan 2.20, sebagai berikut;



Gambar 4.23 Normal Pressure Menurun Secara Linear dari Belakang ke Depan

Sumber : Fahim F. *et al.* *Effect of Normal Pressure on Drawbar Pull of Tracked Vehicle on Soft Grounds*. Mechanical Eng. Dept., College of Engineering Al-Mustansiriya University Baghdad. Iraq (2007).

Untuk Pasir

$$F = 2W \tan \varphi \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-i/K}) \right] - W \tan \varphi \left[1 - 2 \left(\frac{K}{il} \right)^2 \left(1 - e^{-il/K} - \frac{il}{K} e^{-il/K} \right) \right]$$

Dimana:

W = weight vehicle

φ = angel internal shearing resistance

i = slip

K = pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

l = length track

π = konstanta

Dik:

$W = 294,2 \text{ kN}$

$$\varphi_{sand} = 28^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{sand} = 0,025 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

Penyelesaian :

$$F_{sand} = 2 \times 294,2 \times \tan 28^\circ \left[1 - \frac{0,025}{0,05.4,09} (1 - e^{-0,05.4,09/0,025}) \right] \\ - 294,2 \times \tan 28^\circ \left[1 - 2 \left(\frac{0,025}{0,05.4,09} \right)^2 \left(1 - e^{-0,05.4,09/0,025} - \frac{0,05.4,09}{0,025} e^{-0,05.4,09/0,025} \right) \right]$$

$$F_{sand} = (312,857 \times 0,877) - 156,43 \times (0,970 \times 0,8623)$$

$$F_{sand} = \mathbf{143,666 \text{ kN}}$$

Untuk Tanah Liat

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$\varphi_{clay} = 13^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{clay} = 0,006 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

Penyelesaian :

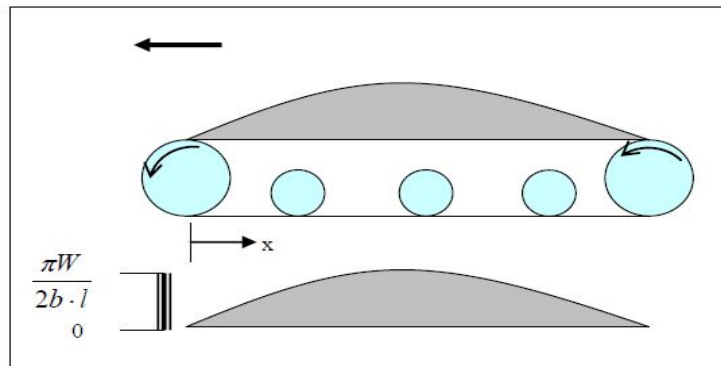
$$F_{clay} = 2 \times 294,2 \times \tan 13^\circ \left[1 - \frac{0,006}{0,05.4,09} (1 - e^{-0,05.4,09/0,006}) \right] \\ - 294,2 \times \tan 13^\circ \left[1 - 2 \left(\frac{0,006}{0,05.4,09} \right)^2 \left(1 - e^{-0,05.4,09/0,006} - \frac{0,05.4,09}{0,006} e^{-0,05.4,09/0,006} \right) \right]$$

$$F_{clay} = (135,84 \times 0,9706) - 67,92 \times (0,998 \times 0,9997)$$

$$F_{clay} = \mathbf{64,069 \text{ kN}}$$

4.3.2.5 Analisis Distribusi *Normal Pressure* Sinusoidal dengan *Maximum Pressure* di tengah, *Zero Pressure* di ujung depan dan belakang

Analisis *Normal Pressure Sinusoidal* dengan *Maximum Pressure* di tengah, *Zero Pressure* di ujung depan dan belakang dijelaskan pada persamaan 2.21, sebagai berikut;



Gambar 4.24 Distribusi *Normal Pressure* Sinusoidal dengan *Maximum Pressure* di tengah, *Zero Pressure* di ujung depan dan belakang

Sumber : Fahim F. *et al.* *Effect of Normal Pressure on Drawbar Pull of Tracked Vehicle on Soft Grounds*. Mechanical Eng. Dept., College of Engineering Al-Mustansiriya University Baghdad. Iraq (2007).

Untuk Pasir

$$F = W \tan \varphi \left[1 - \frac{(e^{-il/K} + 1)}{2(1 + i^2 l^2 / \pi^2 K^2)} \right]$$

Dimana:

W = weight vehicle

φ = angle internal shearing resistance

i = slip

K = pressure-sinkage parameters in the Bekker equation

l = length track

π = konstanta

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$\varphi_{sand} = 28^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{sand} = 0,025 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

$$n_{sand} = 1,1$$

Penyelesaian :

$$F_{sand} = 294,2 \tan 28^\circ \left[1 - \frac{(e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,025} + 1)}{2(1 + 0,05^2 \cdot 4,09^2 / 3,14^2 \cdot 0,025^2)} \right] = 156,43 \times \left(1 - \frac{1,00028}{15,573} \right)$$

$$F_{sand} = 146,381 \text{ kN}$$

Untuk Tanah Liat

Dik:

$$W = 294,2 \text{ kN}$$

$$\varphi_{clay} = 13^\circ$$

$$i = 5\%$$

$$K_{clay} = 0,006 \text{ m}$$

$$l = 4,09 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

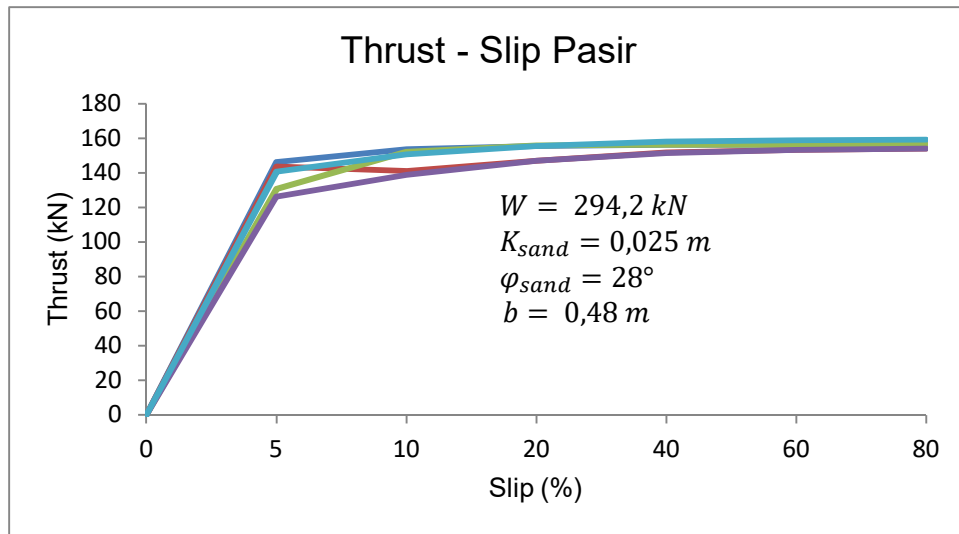
$$n_{clay} = 0,5$$

Penyelesaian :

$$F_{sand} = 294,2 \tan 13^\circ \left[1 - \frac{(e^{-0,05 \cdot 4,09 / 0,006} + 1)}{2(1 + 0,05^2 \cdot 4,09^2 / 3,14^2 \cdot 0,006^2)} \right] = 67,92 \times \left(1 - \frac{1}{237,643} \right)$$

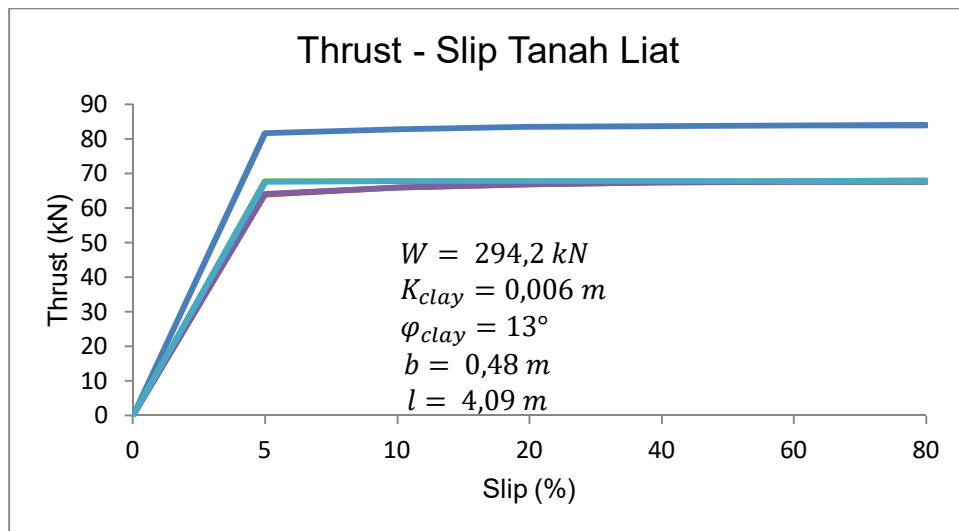
$$F_{clay} = 67.636 \text{ kN}$$

Jadi *Tractive Effort* dan Slip dari *track* dapat digambarkan sebagai berikut yang memenuhi semua persamaan untuk pembebanannya, digambarkan sebagai berikut;



Gambar 4.25 Hubungan *Thrust* – *Slip* Pasir

Sumber: olahan peneliti



Gambar 4.26 Hubungan *Thrust* – *Slip* Tanah Liat

Sumber: olahan peneliti

4.4 Analisis Empiris Parameter *Terrain* dan Parameter *Medium Tank*

Seperti dapat dilihat dari diskusi yang disajikan pada bagian sebelumnya, interaksi antara kendaraan *off-road* dan medannya kompleks dan sulit untuk memodelkan secara akurat. Untuk menghindari kesulitan ini, metode empiris untuk memprediksi mobilitas kendaraan telah dikembangkan. Pendekatan umum untuk pengembangan metode empiris untuk memprediksi Performa kendaraan *off-road* adalah melakukan uji coba pada kelompok terpilih kendaraan yang dianggap representatif dalam berbagai bidang minat. Medan diidentifikasi (atau diklasifikasikan) dengan pengukuran sederhana atau pengamatan lapangan. Hasil pengujian kinerja kendaraan dan karakteristik medan diidentifikasi kemudian dikorelasikan secara empiris. Ini dapat menyebabkan pengembangan hubungan empiris untuk mengevaluasi lalu lintas medan di satu sisi, dan mobilitas kendaraan di sisi lain. Metode empiris representatif untuk memprediksi kinerja kendaraan *off-road* diuraikan di bawah ini.

4.4.1 Analisis Empiris Parameter *Terrain*

Analisis lapangan kuantitatif mendalam tentang lalu lintas tanah melibatkan penggunaan set uji lalu lintas tanah. Jika analisis lapangan tidak memungkinkan, penentuan *trafficability* dapat dilakukan berdasarkan informasi yang dikumpulkan dari jarak jauh. Langkah pertama dalam analisis lapangan tentang lalu lintas tanah adalah penentuan *Cone Index* (CI) tanah. CI, yang merupakan indikasi kekuatan geser tanah.

Kemudian *Remolding Indeks* (RI). CI adalah pengukuran kekuatan geser tanah dalam kondisinya yang tidak terganggu; Namun, kecuali untuk kerikil dan pasir yang mengandung sedikit atau tanpa denda, tanah cenderung mengalami perubahan kekuatan geser akibat berlalunya lalu lintas. Untuk menggambarkan perubahan yang terjadi pada tanah berbutir halus dan pasir yang dapat dibentuk kembali, RI dari tanah tersebut harus

dihitung. RI adalah rasio kekuatan tanah yang dibentuk ulang dengan kekuatan tanah asli. RI diukur menggunakan peralatan remolding, nilai tipikalnya untuk tanah berbutir, 0,8.

Tabel 4.6 Variasi lapisan kritis

Tipe Kendaraan <i>Tracked</i>	Kedalaman Normal <i>Critical Layer</i> (in)			
	1 pass		50 passes	
	<i>Fine-Grained Soil</i>	<i>Coarse-Grained Soil</i>	<i>Fine-Grained Soil</i>	<i>Coarse-Grained Soil</i>
Tekanan kontak tanah	0 – 6	0 – 6	3 – 9	0 – 6
kurang dari 4 psi	0 – 6	0 – 6	6 – 12	0 – 6
Berat kurang dari 45359 kg	3 – 9	0 – 6	9 – 15	0 – 6
Berat lebih dari 45359 kg				

Sumber : olahan peneliti

Selanjutnya *Rating Cone Index* (RCI) adalah ukuran kekuatan tanah dihasilkan oleh lalu lintas kendaraan berulang. Ini adalah produk dari rata-rata pembacaan CI dan RI yang diambil pada lapisan tanah yang sama. RCI dihitung untuk lapisan tanah yang ditentukan menjadi kritis untuk kendaraan yang digunakan dalam operasi. Tabel 4.7 menjelaskan rentang dan nilai rata – rata RCI, yang di dapatkan dari persamaan 2.22 sebagai berikut;

Tabel 4.7 Rentang dan nilai rata-rata RCI untuk tanah

Topografi, Kondisi Kelembaban Tinggi		
Simbol Tipe – Tipe Tanah	RCI (Rentan prediksi)	RCI (Rata – rata)
Tanah Berbutir Kasar	66 – 98 (<i>lb/in²</i>)	82 (<i>lb/in²</i>)
SM – SC	455 – 675 (<i>kN/m²</i>)	565 (<i>kN/m²</i>)
Tanah Berbutir Halus	26 – 66 (<i>lb/in²</i>)	46 (<i>lb/in²</i>)
CL – ML	179 – 455 (<i>kN/m²</i>)	317 (<i>kN/m²</i>)

Sumber : olahan peneliti

Untuk Tanah Liat

$$RCI = R_i \times C_i$$

Dimana :

RCI = Rating Cone Index

Ci = Cone Index

Ri = Remoulding Cone Index

Dik :

$$C_i = 58 \text{ lb/in}^2 = 399,896 \text{ kN/m}^2$$

$$R_i = 0,8 \text{ lb/in}^2 = 5,5 \text{ kN/m}^2$$

Penyelesaian :

$$RCI = 58 \times 0,8$$

$$\mathbf{RCI = 46 \text{ lb/in}^2 = 317 \text{ kN/m}^2}$$

Untuk Pasir

Dik :

$$C_i = 103 \text{ lb/in}^2 = 710,16 \text{ kN/m}^2$$

$$R_i = 0,8 \text{ lb/in}^2 = 5,5 \text{ kN/m}^2$$

Penyelesaian :

$$RCI = 103 \times 0,8$$

$$\mathbf{RCI = 82 \text{ lb/in}^2 = 565 \text{ kN/m}^2}$$

4.4.2 Analisis Empiris Parameter Kendaraan

Analisis Empiris Parameter Kendaraan meliputi perhitungan parameter kendaraan dengan *Nominal Ground Pressure* (NGP), *Mobility Index* (MI), *Mean Maximum Pressure* (MMP) dan perhitungan parameter limit kendaraan dengan *Limiting Cone Index* (CI_L), *Vehicle Cone Index* (VCI), *Vehicle Limiting Cone Index* (VCI_L)

4.4.2.1 Nominal Ground Pressure (NGP)

Nominal Ground Pressure adalah parameter tekanan kendaraan terhadap tanah yang dilewati sesuai pengukuran persamaan 2.23.

Tabel 4.8 Parameter *Nominal Ground Pressure*

Parameter	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai
		MT	AMX-10P	BMP-3
<i>NGP = Nominal Ground Pressure</i>	<i>kN/m²</i>	75	57	59
<i>W = gross vehicle weight</i>	<i>kN</i>	294,2	142,2	183,38
<i>b = track width</i>	<i>m</i>	0,48	0,425	0,38
<i>l = length of track on ground</i>	<i>m</i>	4,09	2,93	4,06

Sumber : olahan peneliti

$$NGP = \frac{W}{2bl}$$

Dimana :

NGP = Nominal Ground Pressure

W = gross vehicle weight

b = track width

l = nominal length of track on the ground

Dik :

W = 294,2 kN

b = 0,48 m

l = 4,09 m

Penyelesaian :

$$NGP = \frac{294,2}{2 \times 0,48 \times 4,09} = \frac{294,2}{3,926}$$

$$NGP = 74,929 \text{ kN/m}^2$$

4.4.2.2 Mobility Index (MI)

Mobility Index adalah Parameter yang terkait dengan kinerja kendaraan VCI pada tanah berbutir halus dan kasar dari persamaan 2.24.

Tabel 4.9 Parameter *Mobility Index*

Parameter	Satuan	Nilai MT	Nilai AMX-10P	Nilai BMP-3
<i>MI = Mobility Index</i>	-	72	51	60
<i>CPF = Contact Pressure Factor</i>	<i>lb/in²</i>	10,868	8,281	8,620
<i>WF = Weight Factor</i>	-	1,2	1,0	1,0
<i>TF = Track Factor</i>	<i>in</i>	0,189	0,167	0,1496
<i>GF = Grouser Factor</i>	-	1,0	1,0	1,0
<i>WLF = Wheel Load Factor</i>	<i>lb/in²</i>	4,857	3,595	3,856
<i>CF = Clearance Factor</i>	<i>in</i>	1,5748	1,772	1,5748
<i>EF = Engine Factor</i>	<i>hp/ton</i>	1,0	1,0	1,0
<i>TRF = Transmission Factor</i>	-	1,0	1,0	1,0

Sumber : olahan peneliti

$$MI = \left[\frac{CPF \times WF}{TF \times GF} + WLF - CF \right] EF \times TRF$$

Dimana :

MI = Mobility Index

CPF = Contact Pressure Factor

WF = Weight Factor

TF = Track Factor

$GF = \text{Grouser Factor}$

$WLF = \text{Wheel Load Factor}$

$CF = \text{Clearance Factor}$

$EF = \text{Engine Factor}$

$TRF = \text{Transmission Factor}$

Dik :

$CPF = 10,868 \text{ lb/in}^2$

$WF = 1,2$

$TF = 0,189 \text{ in}$

$GF = 1,0$

$WLF = 4,857 \text{ lb/in}^2$

$CF = 0,04 \text{ in}$

$EF = 1,0$

$TRF = 1,0$

Penyelesaian :

$$MI = \left[\frac{10,868 \times 1,2}{0,189 \times 1,0} + 4,857 - 0,04 \right] 1,0 \times 1,0 = \left[\frac{13,0416}{0,189} + 3,2826 \right] = 69,003 + 3,2826$$

$MI = 72,286$

4.4.2.3 Mean Maximum Pressure (MMP)

Mean Maximum Pressure adalah Parameter pada persamaan 2.25 yang terkait dengan ground rata-rata tekanan kontak di bawah kendaraan dan digunakan untuk mewakili kinerja potensi tanah lunak.

Tabel 4.10 Parameter Mean Maximum Pressure

Parameter	Satuan	Nilai MT	Nilai AMX-10P	Nilai BMP-3
<i>MMP = Mean Maximum Pressure</i>	<i>kN/m²</i>	<i>238</i>	<i>165</i>	<i>186</i>
<i>W = gross vehicle weight</i>	<i>kN</i>	<i>294,2</i>	<i>142,2</i>	<i>183,38</i>
<i>m = number of wheel on one track</i>	<i>-</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>b = track width</i>	<i>m</i>	<i>0,48</i>	<i>0,425</i>	<i>0,38</i>
<i>p = track pitch</i>	<i>m</i>	<i>0,152</i>	<i>0,135</i>	<i>0,15</i>
<i>d = roadwheel diameter</i>	<i>m</i>	<i>0,60</i>	<i>0,597</i>	<i>0,55</i>
<i>e = track link profile factor footprint – area/pb</i>	<i>-</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	<i>0,95</i>

Sumber : olahan peneliti

$$MMP = \frac{1,26W}{2mbe \sqrt{pd}}$$

Dimana :

MMP = Mean Maximum Pressure kN/m²

W = gross vehicle weight

m = number of wheelstations on one track

b = track width

p = track pitch

d = roadwheel diameter

e = track link profile factor footprint – area/pb

Dik :

W = 294,2 kN

m = 6

b = 0,48 m

p = 0,152 m

d = 0,60 m

$$e = 0,9$$

Penyelesaian :

$$MMP = \frac{1,26 \times 294,2}{2 \times 6 \times 0,48 \times 0,9 \times \sqrt{0,152 \times 0,60}} = \frac{370,692}{1,5655}$$

$$MMP = 236,783 \text{ kN/m}^2$$

4.4.2.4 Limiting Cone Index (CI_L)

Limiting Cone Index adalah Parameter batas *Cone Index* dari tanah yang akan dilewati *Medium Tank* yang ditentukan sesuai persamaan 2.26

Tabel 4.11 Parameter *Limiting Cone Index*

Parameter	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai
		MT	AMX-10P	BMP-3
$CI_L = \textit{Limiting cone Index}$	kN/m^2	197	137	154
$MMP = \textit{Mean Minimum Pressure}$	kN/m^2	238	165	186

Sumber : olahan peneliti

$$CI_L = 0,83 \text{ MMP}$$

Dimana :

$$CI_L = \textit{Limiting cone Index}$$

$$MMP = \textit{Mean Minimum Pressure}$$

Dik :

$$MMP = 238 \text{ kN/m}^2$$

Penyelesaian :

$$CI_L = 0,83 \times 238$$

$$CI_L = 197 \text{ kN/m}^2$$

4.4.2.5 Vehicle Cone Index (VCI)

Vehicle Cone Index adalah kekuatan tanah minimum diperlukan untuk membuat kendaraan melewati sejumlah lintasan tertentu. Pertimbangan paling sering diberikan untuk satu *pass* (VCI_1) sesuai persamaan 2.27 dan lima puluh *pass* (VCI_{50}) pada persamaan 2.28.

Tabel 4.12 Parameter Vehicle Cone Index

Parameter	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai
		MT	AMX-10P	BMP-3
$VCI_1 = \text{Vehicle Cone Index 1 pass}$	kN/m^2	144	114	127
$VCI_{50} = \text{Vehicle Cone Index 50 pass}$	kN/m^2	335	269	298
$MI = \text{Mobility Index}$	-	72	51	60

Sumber : olahan peneliti

$$VCI_1 = 7,0 + 0,2MI - \frac{39,2}{MI+5,6}$$

$$VCI_{50} = 19,27 + 0,43MI - \frac{125,79}{MI+7,8}$$

Dimana :

$VCI = \text{Vehicle Cone Index } kN/m^2$

$MI = \text{Mobility Index}$

Dik :

$MI = 72$

Penyelesaian :

$$VCI_1 = 7,0 + 0,2 \times 72 - \frac{39,2}{72 + 5,6} = 7,0 + 14,4 - 0,505 = 20,895 \text{ lb/in}^2$$

$$VCI_1 = 144,066 \text{ kN/m}^2$$

$$VCI_{50} = 19,27 + 0,43 \times 72 - \frac{125,79}{72 + 7,8} = 19,27 + 30,96 - 1,576 = 48,654 \text{ lb/in}^2$$

$$VCI_{50} = 335,458 \text{ kN/m}^2$$

4.4.2.6 Vehicle Limiting Cone Index (VCL_L)

Vehicle Limiting Cone Index yang diterangkan pada persamaan 2.29 adalah kekuatan batas tanah minimum diperlukan untuk membuat kendaraan melewati sejumlah lintasan tertentu.

Tabel 4.13 Parameter Vehicle Limiting Cone Index

Parameter	Satuan	Nilai MT	Nilai AMX-10P	Nilai BMP-3
<i>VLCI = Vehicle Limit Cone Index</i>	<i>kN/m²</i>	306	213	240
<i>W = gross vehicle weight</i>	<i>kN</i>	294,2	142,2	183,38
<i>m = number of wheel on one track</i>	-	6	5	6
<i>b = track width</i>	<i>m</i>	0,48	0,425	0,38
<i>p = track pitch</i>	<i>m</i>	0,152	0,135	0,15
<i>d = roadwheel diameter</i>	<i>m</i>	0,60	0,597	0,55
<i>e = track link profile factor footprint – area/pb</i>	-	0,9	0,9	0,95

Sumber : olahan peneliti

$$VLCI = \frac{1,63W}{2mbe \sqrt{pd}}$$

Dimana :

VLCI = Vehicle Limit Cone Index kN/m²

W = gross vehicle weight

m = number of wheelstations on one track

b = track width

p = track pitch

d = roadwheel diameter

e = track link profile factor footprint – area/pb

Dik :

W = 294,2 kN

$$m = 6$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

$$p = 0,152 \text{ m}$$

$$d = 0,60 \text{ m}$$

$$e = 0,9$$

Penyelesaian :

$$VLCI = \frac{1,63 \times 294,2}{2 \times 6 \times 0,48 \times 0,9 \times \sqrt{0,152 \times 0,60}} = \frac{479,546}{1,5655}$$

$$VLCI = 306,32 \text{ kN/m}^2$$

4.4.3 Analisis Empiris Interaksi *Terrain* dengan *Medium Tank*

4.4.3.1 *Mobility Numerics*

Mobility Numerics adalah Parameter untuk menggambarkan nilai dari tanah berbutir halus disesuaikan dengan persamaan 2.30 dan tanah berbutir kasar disesuaikan dengan persamaan 2.31, sebagai berikut;

Tabel 4.14 Parameter *Mobility Numerics*

Parameter	Satuan	Nilai MT	Nilai AMX-10P	Nilai BMP-3
$\pi_{TC} = \text{Mobility Numerics Clay}$	-	3,48	1,117	1,024
$RCI = \text{Rating Cone Index}$	lb/in ²	46	46	46
$MMP = \text{Mean Maximum Pressure}$	lb/in ²	34	24	27
$\pi_{TS} = \text{Mobility Numerics Sand}$	-	1,414	1,477	1,637
$G = \text{Penetration resistance gradient sand}$	tan 30°	0,557	0,557	0,557
$W = \text{gross vehicle weight}$	lb	66138,679	31967,03	41226,44
$b = \text{track width}$	in	18,897	16,732	14,961
$l = \text{length of track on ground}$	in	161,024	115,354	159,841

Sumber : olahan peneliti

Untuk Tanah Liat

$$\pi_{TC} = 11,25 \left[\frac{0,145RCI}{MMP} \right]^{0,72}$$

Dimana :

π_{TC} = Mobility Numercs Clay

RCI = Rating Cone Index

MMP = Mean Maximum Pressure

Dik :

$RCI = 46 \text{ lb/in}^2$

$MMP = 238 \text{ kN/m}^2 = 34 \text{ lb/in}^2$

Penyelesaian :

$$\pi_{TC} = 11,25 \left[\frac{0,145 \times 46}{34} \right]^{0,72} = 11,25 [0,196]^{0,72} = 11,25 \times 0,309$$

$$\pi_{TC} = \mathbf{3,48}$$

Untuk Pasir

$$\pi_{TS} = \frac{G (bl)^{1,5}}{W}$$

Dimana :

π_{TS} = Mobility Numercs Sand

G = Penetration resistance gradient sand

W = gross vehicle weight

b = track width

l = length of track on ground

Dik :

$G = \tan 30^\circ = 0,557$

$W = 66138,679 \text{ lb}$

$b = 18,897 \text{ in}$

$l = 161,024 \text{ in}$

Penyelesaian :

$$\pi_{TS} = \frac{0,557 (18,897 \times 161,024)^{1,5}}{66138,679} = \frac{93493}{66138,679} \pi_{TS} = \mathbf{1,414}$$

4.4.3.2 Excess Soil Strenght

Excess Soil Strenght adalah Parameter yang menghitung kelebihan kekuatan tanah, yang ditentukan dengan mengurangi *vehicle cone index* dengan *rating cone index* dinyatakan dengan persamaan 2.32 dan 2.33.

Tabel 4.15 Parameter Excess Soil Strenght

Parameter	Satuan	Nilai MT	Nilai AMX-10P	Nilai BMP-3
D/W_1 (FGS) = excess soil strenght	-	0,522	0,540	0,533
D/W_{50} (FGS) = excess soil strenght	-	-0,386	0,330	0,196
D/W_1 (CGS) = excess soil strenght	-	0,6565	0,661	0,660
D/W_{50} (CGS) = excess soil strenght	-	0,606	0,629	0,620
<i>RCI</i> = Rating Cone Index soil Clay	lb/in ²	82	82	82
<i>RCI</i> = Rating Cone Index soil Sand	lb/in ²	46	46	46
VCI_1 = Vehicle Cone Index soil	lb/in ²	20,895	16,507	18,402
VCI_{50} = Vehicle Cone Index soil	lb/in ²	48,654	39,061	43,215

Sumber : olahan peneliti

Untuk Tanah Liat

$$\frac{D}{W} \text{ (FGS)} = 0,6512633 - \frac{4,90683}{RCI - VCI_{50} + 7,285463} + 0,02224646 \text{ (ML, CL, SM)}$$

Dimana:

$$\frac{D}{W} = \text{drawbar coefficient}$$

$RCI = \text{Rating Cone Index soil } lb/in^2$

$VCI_{50} = \text{Vehicle Cone Index soil } lb/in^2$

Dik :

$$RCI = 46 \text{ lb/in}^2$$

$$VCI_{50} = 48,654 \text{ lb/in}^2$$

Penyelesaian :

$$\frac{D}{W} (FGS) = 0,6512633 - \frac{4,90683}{46 - 48,654 + 7,285463} + 0,02224646 (ML, CL, SM)$$

$$\frac{D}{W} (\text{Fine} - \text{grained soil}) = -0,386$$

Untuk Pasir

$$\frac{D}{W} (CGS) = 0,6969994 - \frac{5,131209}{RCI - VCI_{50} + 6,99228} + 0,03483978 (SC, CH)$$

Dik :

$$RCI = 82 \text{ lb/in}^2$$

$$VCI_{50} = 48,654 \text{ lb/in}^2$$

Penyelesaian :

$$\frac{D}{W} (CGS) = 0,6969994 - \frac{5,131209}{82 - 48,654 + 6,99228} + 0,03483978 (SC, CH)$$

$$\frac{D}{W} (\text{Coarse} - \text{grained soil}) = 0,606$$

$RCI > VCI$ maka kendaraan dapat melintas lebih dari 50 kali dalam lintasan yang sama, $RCI \geq VCI$ maka kendaraan dapat melewati 1~2 kali dalam lintasan yang sama, dan $RCI \leq VCI$ maka kendaraan tidak bisa lewat.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yaitu;

a. Parameter *Terrain* dan Parameter *Medium Tank*

1) Analisis Parametrik dan Empiris *Terrain*

Parameter *terrain* dengan analisis parametrik meliputi hubungan *shear stress – normal stress* dan hubungan *pressure – sinkage*. Hubungan *shear stress – normal stress*, Tanah liat memiliki *shear stress* adalah 21,448 kN, sedangkan Pasir memiliki *shear stress* adalah 27,415 kN. Selanjutnya hubungan *pressure – sinkage*, tanah liat memiliki kecenderungan ketika diberi beban yang konstan diawal penurunannya lebih cepat dan relatif akan berkurang ketika beban terus ditambah, lain halnya dengan pasir memiliki kecenderungan ketika diberi beban yang konstan akan linear dengan penurunannya. Parameter *terrain* dengan analisis empiris adalah nilai rata – rata dari *Rating Cone Index* (RCI) untuk tanah liat atau tanah berbutir halus adalah 46 lb/in² atau 317 kN/m² dan pasir atau tanah berbutir kasar 82 lb/in² atau 565 kN/m².

2) Analisis Parametrik dan Empiris *Medium Tank*

Parameter *Medium Tank* dengan analisis parametrik meliputi *Thrust, Speed, Drawbar pull, dan Tractive Efficiency*. *Thrust Medium Tank* adalah 187,927 kN, dengan *Speed* adalah 14 Km/h, memiliki *Drawbar pull* adalah 175,775 kN dan *Tractive Efficiency* adalah 79,84%.

Parameter *Medium Tank* dengan analisis empiris meliputi *Nominal Ground Pressure*, *Mobility Index*, *Mean Maximum Pressure Limiting Cone Index*, *Vehicle Cone Index (VCI)* dan *Vehicle Limiting Cone Index*. *Nominal ground pressure* untuk *Medium Tank* 74,929 kN/m², *mobility index Medium Tank* adalah 72, *mean maximum pressure Medium Tank* adalah 238 kN/m², *limiting cone index* untuk *Medium Tank* adalah 197 kN/m², *vehicle cone index (VCI) Medium Tank* untuk *passing 1* adalah 144 kN/m² sedangkan untuk *passing 50* adalah 335 kN/m² dan *vehicle limiting cone index Medium Tank* adalah 306 kN/m².

b. Analisis Parametrik dan Empiris Interaksi Parameter *Terrain – Medium Tank*

Parameter *terrain – Medium Tank* dengan analisis parametrik meliputi hubungan *shear stress – shear displacement* dan hubungan *thrust – slip* serta *drawbarpull 20% slip*. Hubungan *shear stress – shear displacement* untuk tanah liat, *displacemement* terjadi antara 0 sampai 3 cm pada *shear stress* kisaran 17,389 kPa. Sedangkan untuk pasir, *displacement* terjadi antara 0 sampai 8 cm pada *shear stress* kisaran 13,477 kPa. Hubungan *thrust – slip* untuk tanah liat bahwa kisaran *thrust* antara 60 sampai 80 kN memungkinkan terjadi slip. Jadi makin besar *thrust* yang diberikan persentase slipnya juga meningkat. Hubungan *thrust – slip* untuk pasir bahwa kisaran *thrust* antara 120 sampai 140 kN memungkinkan terjadi slip. Jadi makin besar *thrust* yang diberikan persentase slipnya juga meningkat. *Drawbarpull 20% slip* untuk tanah liat 81,433 kN dan *drawbarpull 20% slip* untuk pasir 146,584 kN.

Parameter *terrain – Medium Tank* dengan analisis empiris meliputi *mobility numeric* dan *excess soil strength*. *Mobility numeric*

untuk tanah liat atau tanah berbutir halus adalah 3,48 dan untuk pasir atau yang berbutir kasar adalah 1,414. *Excess soil strength* untuk tanah liat pada passing 1 dan 50 adalah 0,522 dan -0,386, hal ini mengisaratkan bahwa *Medium Tank* tidak dapat atau dapat melewati namun beresiko tertahan dalam melewati terrain yang ditentukan, karena nilai RCI lebih kecil dari VCI. *Excess soil strength* untuk pasir pada *passing* 1 dan 50 adalah 0,6565 dan 0,606, hal ini mengisyaratkan bahwa *terrain* dapat dilewati *Medium Tank*.

5.2 Saran

Saran penelitian terdiri atas saran teoritis dan saran praktis. Berikut ini adalah saran untuk penelitian selanjutnya;

a. Saran Teoritis

Saran teoritis yang didapatkan dalam penelitian ini untuk akademisi adalah pengembangan penelitian diharapkan agar dilanjutkan pada proses pembuatan numerik dan simulasi.

b. Saran Praktis

Saran praktis pada penelitian ini diharapkan berguna untuk *Stakeholder* agar dapat mengejar ketertinggalan akan ilmu terramekanik, hal ini didasari karena pengembangan tank sudah dimulai oleh Nato dengan menggunakan *software* pada tahun 1968. Untuk TNI khususnya Kaveleri dan Zeni untuk bersinergi mengembangkan ilmu terramekanik untuk menentukan medan operasi yang akan dilalui ketika terjadi perang darat di wilayah perbatasan.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Creswell, J, W. (2003). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Method*. Sage Publication. London
- Muhaimim, Y, A. (2008). *“Bambu Runcing dan Mesiu: Masalah Kebijakan Pembinaan Pertahanan Indonesia”*, Yogyakarta: Tiara Wacana.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2015). *Buku Putih Pertahanan Indonesia*. Jakarta.
- Tippe, S. (2016). *Ilmu Pertahanan, Sejarah, Konsep, Teori, dan Implementasi*. Salemba Humanika. Jakarta
- Repko, A, F. (2011). *Interdisciplinary Research: Process and Theory Paperback*. <http://www.amazon.com/Interdisciplinary>.

Jurnal

- Artileri. (2013) *Indonesia-Turki Kerjasama Pembuatan Tank Medium*, diakses dari <http://www.artileri.org/2013/05/indonesia-turki-kerjasama-pembuatan-tank-medium.html?m=1>, pada 20 April 2019
- Andari, D. (2016). *Evaluasi Kinerja PT. Pindad (Persero) Dengan Balanced Scored*. Jurnal Ilmiah Akuntansi, Vol. 1, No. 1. Universitas Widyatama.
- ASTM International. 2000. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes Unified Soil Classification System (USCS)*. West Conshohocken. United States. pada 10 September 2019
- Barton P C, Bennett M D, Hall L C, Hetherington J G. (2000). *Wheels and Tracks Study*. Engineering Systems Department Royal Military Collage of Science Shrivenham. Cranfield University.
- Bekker, M. G. (1956). *Theory of land locomotion*. The University of Michigan Press. Ann Arbor. Michigan.

- _____. (1960). *Off-the-road locomotion*. Ann Arbor. Universitas Michigan Press. Universitas Michigan
- Djarwono, L, F. (2017). *Pembangunan Industri Pertahanan Indonesia: Menuju Pemenuhan Target MEF atau Sekedar Menuju ARM CANDY? Vol.2, Nomor 2*.
- Fahim F. Alhimdan, Ehsan S. Al-Ameen. (2007). *Effect of Normal Pressure on Drawbar Pull of Tracked Vehicle on Soft Grounds*. Mechanical Eng. Dept., College of Engineering Al-Mustansiriya University Baghdad. Iraq
- George, A, K., Singh, H. (2017). *A Fuzzy Simulation Model for Military Vehicle Mobility Assessment*. Hindawi Research Article. Vol.2017.
- Haryono, A. (2017). *Pengaturan Industri Pertahanan Terkait Investasi Asing. Negara Hukum: Vol. 8, No. 2*.
- Ho, J., Pardesi, M S. (2004). Singapore's Security Challenges: How Does the RMA Fit In?" IDSS Commentaries, hal. 3. Nanyang Technological University Singapore, diakses dari http://dr.ntu.edu.sg/bitstream/handle/10220/4058/RSISCOMMENT_221.pdf?sequence=1. diakses 27/09/11 pada 21 April 2019.
- Janosi, Z., & Hanamoto, B. (1961). *The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils*. Proceedings of the 1st International Conference on the Mechanics of Soil-Vehicle Systems, Torino, Italy: Edizioni Minerva Tecnica.
- Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi. (2016). *Rencana Induk Riset Nasional 2015 – 2045*.
- Kodiklat TNI AD. (2013). *Rencana Pengembangan Tank Medium Bagi Satuan Kavaleri TNI AD*. Pusat Kesenjataan Kavaleri: Jakarta.
- Kyle, M. (2016). *The U.S. Army Wants a New Light Tank*, diakses dari <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a22337/us-army-new-light-tank/>, pada 25 April 2019

- Larminie, J, C. (1992). *Modifications to The Mean Maximum Pressure System*. Journal of Terramechanics, Vol.29, No. 2, pp 239-255.
- Lutfi, R, M. (2012). *Implementasi Revolution In Military Affairs (RMA) Dalam Kebijakan Pertahanan Indonesia*. Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Program Pasca Sarjana Ilmu Hubungan Internasional, Universitas Indonesia. Depok
- Micklethwaite, E. W. E. (1944). *Soil mechanics in relation to fighting vehicles*. Royal Military College of Science. Chertsey. UK.
- Madsen, J., Heyn Toby., Negrut. (2010). *Methods For Tracked Vehicle System Modeling And Simulation*. Technical Report 2010 – 01.
- Rachmat, A, N. (2016). *Tantangan dan Peluang Perkembangan Teknologi Pertahanan Global Bagi Pembangunan Kekuatan Pertahanan Indonesia*. Transformasi Global, volume 1, issue 2.
- Rahman A H, Shaik A M, Kumar J R, Balaguru V, Sivakumar P. (2017). *Design Configuration of a Generation Next Main Battle Tank fo Future Combat*. Combat Vehicle Research and Development Establishment, Chennai. India
- Raska, M. (2011). *RMA Diffusion Paths and Patterns in South Korea's Military Transformation*. The Korean Journal of Defense Analysis, Vol. 23, No. 3 hal 369–385, diakses dari http://www.kida.re.kr/data/kjda/05_Michael%20Raska.pdf, pada 27 Februari 2019.
- Reece, A. R. (1965). *Principles of soil–vehicle mechanics*. Proceedings of the Institution Mechanical Engineers, 180(Part 2A 2), 45–67.
- Rula A A, Nuttall C J. (1971). *An analysis of ground mobility models (ANAMOB)*. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Technical report M-71-4, Vicksburg, Mississippi. USA.
- Sohne, W. (1958). *Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires and 290*. Agricultural Engineering.

- Stevens M T, Towne B W, Mason G L, Priddy J D, Osorio J E, and Barela C A. (2013). *Procedures for One-Pass Vehicle Cone Index (VCI1) Determination for Acquisition Support*. The US Army Engineer Research and Development Center (ERDC).
- Verrujit, A. (2007). Soil Mechanics. VSSD
- Wardhana, D. (2017). *Ranpur Medium Tank untuk memperkuat dan meningkatkan profesionalisme prajurit kavaleri TNI AD*. Jurnal Yudhagama. Jakarta
- Widjajanto, A. (2012). *Revolusi Teknologi Militer dan Kemandirian Industri Pertahanan Indonesia*. Jurnal pertahanan, volume 2, nomor 2.
- Wills, B. M. D. (1963). *The measurement of soil shear strength and deformation moduli and a comparison of the actual and theoretical performance of a family of rigid tracks*. Journal of Agricultural Engineering Research, 8(2), 115–131.
- Wong, Y, C, D. Lim, H, H, S. Chan, W, Q, W. (2016). *An Assessment of Land Vehicles' Trafficability*. DSTA HORIZONS
- Wong, J. Y. (1984). *An improved method for predicting tracked vehicle performance*. Journal of Terramechanics, 21(1), 35–43.
- _____. (2008). *Theory of Ground Vehicle*. Wiley. 4th Edition.
- _____. (2010). *Terramechanics And Of – Road Vehicle Engineering*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands.
- Wulandari, A. (2017). *Kepentingan Indonesia bekerjasama dengan Turki dalam Industri Pertahanan. studi kasus: pembuatan Tank Medium*. Jurusan Ilmu Hubungan Internasional Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Riau. Pekanbaru.

Website

Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. “Menhan Tinjau Perkembangan Pengembangan *Medium Tank* PT.Pindad, diakses dari

<https://www.kemhan.go.id/2017/09/18/menhan-tinjau-perkembangan-pengembangan-medium-tank-pt-pindad.html>, pada 20 April 2019.

Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. “*Medium Tank* dipamerkan pada Indo Defence 2018 Expo, diakses dari <https://www.kemhan.go.id/2018/11/07/medium-tank-pindad-dipamerkan-pada-indo-defence-2018-expo-forum.html>, pada 21 April 2019.

_____, diakses pada <https://www.kkip.go.id/tentang-kami/>, pada 2 April 2019

_____, diakses pada <https://www.kkip.go.id/sejarah/>, pada 2 April 2019.

Nato Reference Mobility Model. <http://nrmm.net/vehdyn-workshop.html>

PT. Pindad. (2014). “Bidang Usaha dan Perkembangan Usaha”, diakses dari <https://www.pindad.com/business-field-and-business-development>, pada 14 Mei 2019.

PT. Pindad. (2016). “Pindad dan FNSS Luncurkan Desain *Medium Tank* di Indo Defence”, diakses dari <https://www.pindad.com/pindad-dan-fnss-luncurkan-desain-medium-tank-di-indo-defence-2016>, pada 14 Mei 2019.

PT. Pindad. (2017). *Sarasehan Industri Pertahanan di Pindad, Menhan Tinjau Turret Dalam Mendukung Medium Tank*, diakses pada 14 Mei 2019.

PT. Pindad. “Business field and business development, diakses dari <https://www.pindad.com/business-field-and-business-development>, pada 15 Mei 2019.

PT. Pindad. “Special vehicle”, diakses dari <https://www.pindad.com/special-vehicles>, pada 15 Mei 2019.


PT. Pindad. “*Medium Tank* Pindad”, diakses dari <https://www.pindad.com/medium-tank-pindad>, pada 20 April 2019.

_____, diakses dari <http://lembagakeris.net/membuat-tank-tempur-utama-mbt-sendiri/>, pada 9 April 2019.

Peraturan Perundang – Undangan

Undang – Undang Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan.

Lampiran 1: Surat Ijin Penelitian

		KEMENTERIAN PERTAHANAN RI UNIVERSITAS PERTAHANAN
Nomor	: BI 1992/VI/2019	Bogor, 18 Juni 2019
Klasifikasi	: Biasa	
Lampiran	: -	
Hal	: Permohonan Izin dan Rekomendasi Pelaksanaan Penelitian.	Kepada Yth. Dirut PT. Pindad di Tempat

1. Dasar:

- a. Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2011 tentang Universitas Pertahanan sebagai Perguruan Tinggi yang Diselenggarakan Oleh Pemerintah.
- b. Kalendar Akademik Program Studi Teknologi Daya Gerak Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Tahun Akademik 2018/2019.


2. Sehubungan dasar di atas, dengan hormat disampaikan bahwa:

- a. Sebagai syarat kelulusan Program Pascasarjana Universitas Pertahanan, bagi mahasiswa diwajibkan menyusun tesis yang terkait dengan bidang program studinya.
- b. Mahasiswa Program Studi Teknologi Daya Gerak Fakultas Teknologi Pertahanan Unhan atas nama Muhammad Abdi Subhannudin Gilman NIM: 120170404004, nomor HP: 085242525585 dan alamat email: muhammad.gilman@tp.idu.ac.id, bermaksud menyusun tesis dengan judul: "Analisis Mobilitas Medium Tank PT. Pindad Pada Deformasi Terrain".

3. Berkenaan dengan hal tersebut mohon diizinkan mahasiswa dimaksud untuk melaksanakan penelitian dalam rangka mendapatkan data dan keterangan termasuk melakukan wawancara dengan pejabat yang ditunjuk.

4. Demikian mohon menjadikan periksa.

a.n. Rektor
Universitas Pertahanan
Warek I Bid. Akademik dan Kemahasiswaan,



Sudibyo, S.E., D.S.S., M.Si
Mayor Jenderal TNI

Tembusan:

1. Sekjen Kemhan
2. Sekmen BUMN
3. Rektor Unhan
4. Warek Unhan
5. Kasatwas Unhan
6. Ka LPPM Unhan
7. Dekan FTP Unhan
8. Direktur Pengembangan dan Teknologi PT. Pindad
9. Kepala Program Medium Tank PT. Pindad

Lampiran 2: Surat Keterangan Penelitian

Lampiran 3: Data Hasil Penelitian



CAT X300 Military Vehicle Transmission

Tracked vehicles in the 20 to 35 tonnes category
300kW - 600kW
Full Electronic Control
Anti-clockwise (viewed from rear)
External toothed ring/internal splines
Single-stage multi-phase with lock-up clutch
Single-plate automatic hydraulic application
Wet multi-plate hydraulic application with mechanical back-up
Hydrostatically controlled double differentials with pivot steer in neutral

GENERAL DATA

- Application: Input power
- Control: Full Electronic Control
- Rotation input: Anti-clockwise (viewed from right hand side) (clockwise optional)
- Input/Output drives: External toothed ring/internal splines
- Lock-up clutch: Single-stage multi-phase with lock-up clutch
- Range clutches: Single-plate automatic hydraulic application
- Brakes: Wet multi-plate hydraulic application with mechanical back-up
- Steering: Hydrostatically controlled double differentials with pivot steer in neutral

GEAR RATIOS

Forward (First to Fourth): 4.16:1 / 2.00:1 / 1.28:1 / 0.86:1 ; 3rd / 5.75:1 / 1.43:1 ; 8.3:1 / 13.06:1

Reverse (First and Second):

Power take-off drive: Input driven at 1.08 x engine speed

OIL SYSTEM

Main pressure delivery: 493 l/m (108 gpm) @ 2600 rpm

Scavenge delivery: 556 l/m (122 gpm) @ 2600 rpm

Oil capacity: 75.7 litres (20 US gallons)

Oil temperature normal/maximum: 82-104°C (180-220°F)

WEIGHT/DIMENSIONS

Dry weight: 943 kg (2080 lb)

Length: 821mm (32.3")

Width: 1042mm (41")

Height (overall): 846mm (33.3")

Height above output centre line: 538mm (21.2")

Further details available from:

Caterpillar Defence Products
Lancaster Road
Shrewsbury SY1 3NX UK
Tel: +44 (0)1743 212815
coram_geoff_j@cat.com

The information contained on this sheet is the Proprietary Information of Peckham Engines Company Ltd. and shall not be used in any way other than for the transaction for which it is supplied.

21/10/2014

4 Performance

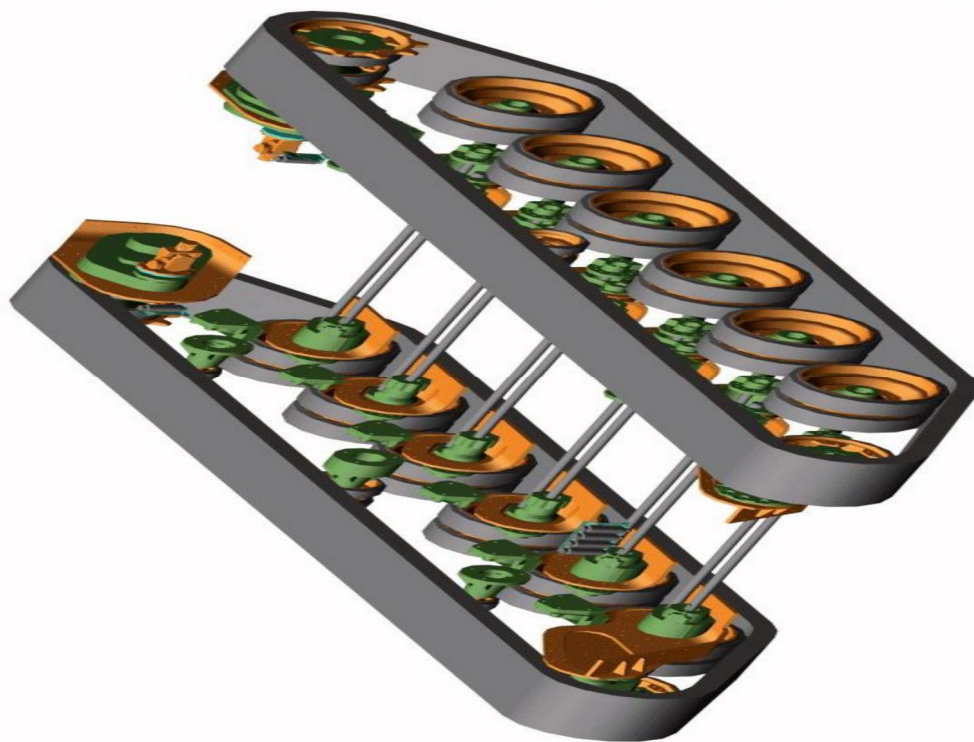
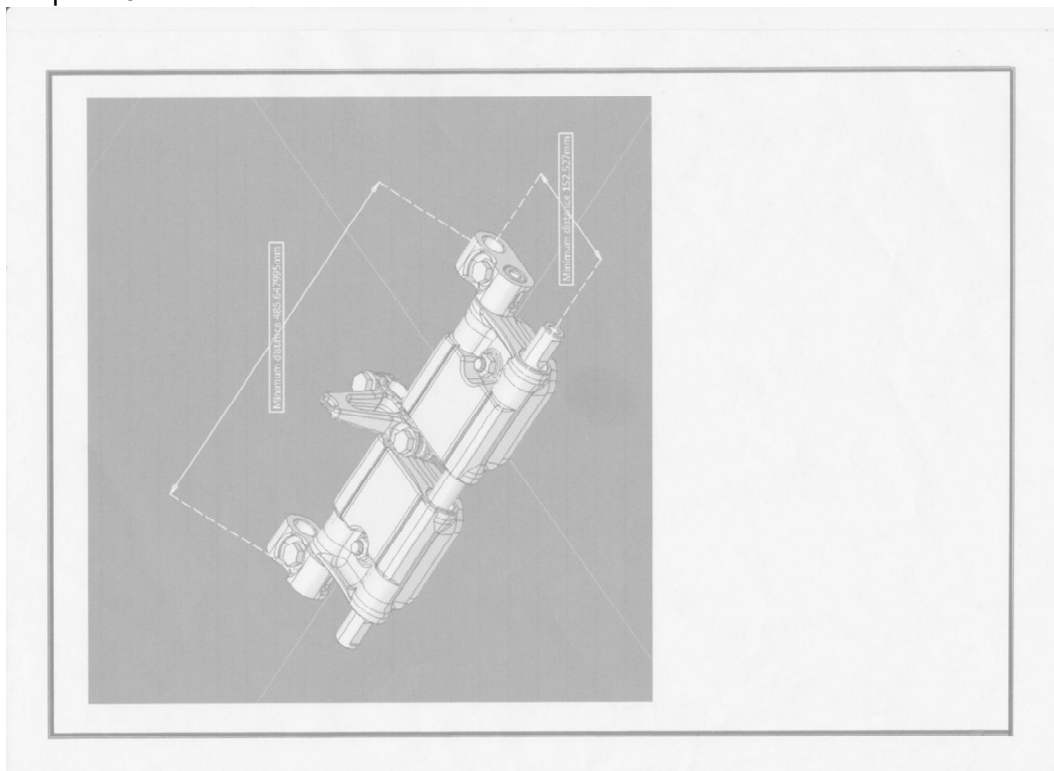
4.1 Performance Data

530.0 kW ± 3% 2714 Nm ± 3% Unregulated 221.7 g/kWh 199 g/kWh ± 6 g/kWh 2410 rpm 2410 rpm 1.524 m	711 hp 1981 b.ft Unregulated 0.36 lb/whp 0.33 lb/whp ± 0.10 lb/whp 2410 rpm 2410 rpm 5000 ft
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4.2 Power and Torque Curves

Speed rpm	Power		Torque	
	kW	bhp	Nm	ft.lbs
700	110	147	1495	1103
800	134	179	1595	1177
900	170	228	1801	1331
1000	221	297	2114	1559
1100	279	375	2428	1789
1200	350	463	2628	1937
1300	389	495	2714	2002
1400	397	533	2710	1989
1500	424	568	2697	1989
1600	441	581	2630	1940
1700	460	617	2585	1907
1800	475	637	2519	1858
1900	487	654	2450	1807
2000	501	672	2352	1764
2100	512	686	2328	1716
2200	521	699	2261	1669
2300	530	710	2169	1622
2325	511	685	2088	1547
2350	487	653	1980	1460

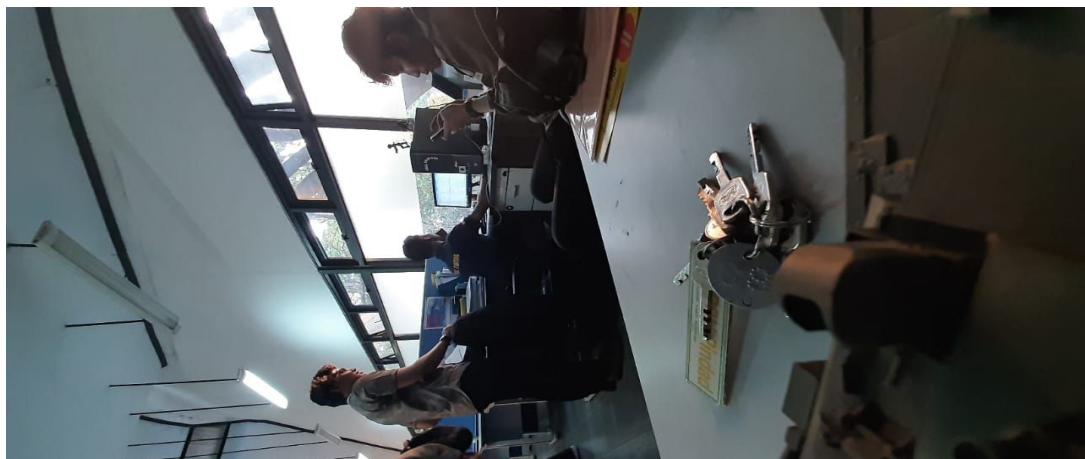
Lampiran 3: Data Hasil Penelitian



Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian



Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian



RIWAYAT HIDUP PENELITI



Muhammad Abdi Subhanuddin Gilman, lahir di ujung pandang pada 17 Agustus 1992, anak pertama dari pasangan bapak Tabaing Gilman dan ibu Andi Hasda. Menyelesaikan pendidikan SD Paccinang 1 Makassar, lulus tahun 2003, SMP Negeri 23 Makassar, lulus tahun 2006, SMA Negeri 13 Makassar, lulus tahun 2009, Sarjana (S-1) Universitas Muslim Indonesia pada tahun 2015, melanjutkan program Magister (S-2) di Universitas Pertahanan.

Pendidikan Non Formal :

1. Pelatihan Tenaga Teknis Konsultan DPD Inkindo Sulawesi Selatan, 2014

Pengalaman Kerja :

1. Januari 2016 – September 2016

Nama Proyek : Pengawasan Teknik Penanganan Jalan PW.18 Putussibau – Nanga Era – Batas Kaltim, APBN TA 2016

Lokasi Proyek : Kabupaten Kapuas Hulu Provinsi Kalimantan Barat

Pemberi Tugas : P2JN Provinsi Kalimantan Barat

Nama Perusahaan : PT. Hasfarm Dian Konsultan

Uraian Tugas : Bertanggung Jawab memberikan informasi kepada Site Engineer / Chief Inspector dalam menyelesaikan pekerjaan baik segi teknis maupun administrasi, mengawasi pekerjaan kontraktor sesuai Kerangka Acuan Kerja, memberi saran untuk menanggulangi jika terjadi keterlambatan, memeriksa gambar kerja, membuat laporan tentang kemajuan fisik dan lain – lain.

Waktu Pelaksanaan : 29 Januari 2016 – 30 September 2016

Posisi Penugasan : Inspector

Surat Referensi : Lampiran

2. April 2015 – Desember 2015

Nama Proyek : Pengawasan Teknis Jalan PW.14 Paket Peningkatan Jalan Sp. Perdau – Batu Ampar dan Penanganan Longsor Sp. Perdau – Batu Ampar – Muara Wahau, APBN TA 2015

Lokasi Proyek : Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur

Pemberi Tugas : P2JN Provinsi Kalimantan Timur
Nama Perusahaan : PT. Hasfarm Dian Konsultan
Uraian Tugas : Bertanggung Jawab memberikan informasi kepada Site Engineer / Chief Inspector dalam menyelesaikan pekerjaan baik segi teknis maupun administrasi, mengawasi pekerjaan kontraktor sesuai Kerangka Acuan Kerja, memberi saran untuk menanggulangi jika terjadi keterlambatan, memeriksa gambar kerja, membuat laporan tentang kemajuan fisik dan lain – lain.
Waktu Pelaksanaan : 28 April 2015 – 26 Desember 2015
Posisi Penugasan : Inspector
Surat Referensi : Lampiran

Demikian daftar riwayat hidup ini saya buat dengan sebenar – benarnya dan penuh rasa tanggung jawab, sekian dan terima kasih.

Bogor, 16 September 2019
Yang Bersangkutan

Muhammad Abdi S Gilman