

**DESAIN DAN ANALISA PERFORMA *HYDRAULIC
PNEUMATIC SUSPENSION SYSTEM* PADA KENDARAAN
PERTANIAN BERBASIS *TRACKED CHAIN WHEELS***

SKRIPSI

GHURAF HASBI ABDILLAH

20180110021



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
SUKABUMI
SEPTEMBER 2023**

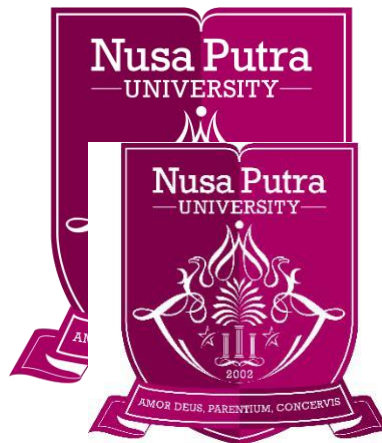
**DESAIN DAN ANALISA PERFORMA *HYDRAULIC*
PNEUMATIC SUSPENSION SYSTEM PADA KENDARAAN
PERTANIAN BERBASIS *TRACKED CHAIN WHEELS***

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh
Gelar Sarjana Teknik Mesin*

GHURAF HASBI ABDILLAH

20180110021



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
SUKABUMI
SEPTEMBER 2023**

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : DESAIN DAN ANALISA PERFORMA *HYDRAULIC PNEUMATIC SUSPENSION SYSTEM* PADA KENDARAAN PERTANIAN BERBASIS *TRACKED CHAIN WHEELS*

NAMA : GHURAF HASBI ABDILLAH

NIM : 20180110021

“Saya menyatakan dan bertanggungjawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa Skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti- bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik Mesin, saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.



GHURAF HASBI ABDILLAH

Penulis

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : DESAIN DAN ANALISA PERFORMA *HYDRAULIC PNEUMATIC SUSPENSION SYSTEM* PADA KENDARAAN PERTANIAN BERBASIS *TRACKED CHAIN WHEELS*

NAMA : GHURAF HASBI ABDILLAH

NIM : 20180110021

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada Sidang Skripsi tanggal 15 September 2023 menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik Mesin.

Sukabumi, 15 September 2023

Dosen Pembimbing,


Heppi Familiana, S.T., M.T.
NIDN. 04220981023



Ketua Penguji,



Mukhlis Ali, M.T
NIDN. 0402108209

Lazuardi Akmal Islami, M.Si.
NIDN. 0415039402

Dekan Fakultas *Engineering, Computer
and Design (FECD)*

Ir. Paikun, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIDN. 0402037401



*Skripsi ini kutujukan kepada
Ibu ku tercinta dan diriku di masa depan*

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara agraria yang masyarakatnya bermata pencaharian sebagai petani, akan tetapi sampai saat ini negara Indonesia masih kesulitan dalam mengatasi masalah penggunaan teknologi modern di bidang pertanian, karena perkembangan teknologi pertanian di Indonesia masih belum memadai, seperti distribusi panen, karena sebagian daerah di Indonesia memiliki tekstur permukaan tanah yang tidak rata, maka penggunaan suspensi *hydraulicpneumatic* dan *mattrack* yang dirancang dengan menggunakan aplikasi SOLIDWORK diharapkan dapat mengatasi distribusi hasil panen dengan menyesuaikan kendaraan Daihatsu Grandmax PU 1.3 STD. Tujuan utama penelitian ini untuk melihat respon dari gerakan osilasi harmonik dari input sinusoidal dengan amplitudo sebesar 0,02 m dan frekuensi sebesar 0,5 Hz, respon gaya redam dan gaya pegas suspensi *hydraulicpenumatic* dengan menggunakan kontroler PID ideal. Simulasi dan pengujian menggunakan aplikasi MATLAB dan Simulink untuk melihat hasil kontinyu dengan waktu sebanyak 20 detik. Pengujian dilakukan pada bagian roda belakang dengan model sistem seperempat kendaraan, dengan mengganti suspensi konvensional dengan suspensi *hydraulicpneumatic* yang memiliki diameter *orifice* sebesar 2 mm dan piston 78 mm dengan menggunakan minyak ASTM D 1298 sebesar $= 876 / 3$, untuk *accumulator* gas memiliki tekanan awal di kedua silinder (30, 40) sebesar 9×10^5 yang memiliki volume awal gas di kedua silinder (30, 40) sebesar $6,3617310^{-4} 3$ dengan diameter *floating* piston sebesar 78 mm, menghasilkan gaya redam 4,041 N dan gaya pegas sebesar 672 Pa dan menghasilkan gerakan osilasi harmonik dari kendaraan sebesar 0,0146 m, dan mengalami kondisi stabil pada detik 6,2. Serta gaya osilasi maksimum yang dihasilkan oleh *mattrack* sebesar 0,02032 m menyatakan massa *mattrack* 172,365 kg memiliki pegangan jalan yang baik.

Kata Kunci: Gaya pegas, gaya redam, *mattrack*, PID *controller*, suspensi hidrolik penumatik



ABSTRACT

Indonesia is agrarian country whose people make their living as farmers, but until now still has hard to handle problem using agricultural's technology, because the development of agricultural's technology in Indonesia still inadequate, such as crop distribution, because some regions have texture of the ground surface is uneven, with use hydraulicpneumatic suspension and mattrack designed using SOLIDWORK is expected to be able to overcome the distribution of crop yields by adjusting Daihatsu Grandmax PU 1.3 STD. The main of this research is to see response of harmonic oscillatory sinusoidal with amplitude 0.02 m and frequency of 0.5 Hz, response of the damping force and spring force of a hydraulicpneumatic suspension using ideal PID controller. Simulation using MATLAB and Simulink to see continuous results with a time of 20 seconds. The test was carried out on the rear wheels with quarter vehicle systeml, by replacing the conventional suspension with a hydraulicpneumatic which has an orifice diameter of 2 mm and a piston of 78 mm using ASTM D 1298 oil of $\rho = 876 \text{ kg/m}^3$, for the gas accumulator it has the initial pressure and volume in both cylinders (30, 40) is $9 \times 10^5 \text{ Pa}$, (30, 40) of $6,3617310^{-4} \text{ m}^3$ with a floating piston diameter of 78 mm, resultinga damping force is 4,011 N and spring force is 672 Pa and produces harmonic oscillatory vehicle of 0.0146 m, and have a steady state at 6.2 seconds. And maximum oscillating by mattrack 0.02032 m, indicating that the mattrack mass is 172.365 kg and has good road grip.

Keywords: Damping force, mattracks, suspension hydraulicpneumatic, PID controller, spring force.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul : *Desain Analisa Performa Hydraulic Pneumatic Suspension System Pada Kendaraan Pertanian Berbasis Tracked Chain Wheels*. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai bentuk mencerdaskan kehidupan bangsa dan sebagai upaya perdamaian bangsa Indonesia.

Sehubungan dengan itu penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. H. Kurniawan, S.T., M.Si., M.M selaku Rektor Universitas Nusa Putra.
2. Bapak Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Nusa Putra
3. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Nusa Putra
4. Ibu Heppi Familiana, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Mukhlis Ali, M.T selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan untuk penelitian yang dilakukan.
6. Seluruh Staf pengajar di Program Studi Teknik Mesin. Universitas Nusa Putra yang selalu memberikan masukan serta saran dan juga pengetahuan yang tidak ternilai harganya.
7. Kedua Orang tua yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta kesabarannya yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup.
8. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2018, 2019 dan semua angkatan.

Sukabumi, 15 September 2023

Ghuraf Hasbi Abdillah

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ghuraf Hasbi Abdillah
NIM : 20180110021
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

DESAIN DAN ANALISA PERFORMA *HYDRAULIC PNEUMATIC SUSPENSION SYSTEM* PADA KENDARAAN PERTANIAN BERBASIS *TRACKED CHAIN WHEELS*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data Base), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Sukabumi

Pada tanggal : 15 September 2023

Yang menyatakan



(Ghuraf Hasbi Abdillah)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENULIS	ii
PENGESAHAN SKRIPSI	viii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Riset	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Riset	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sistem Suspensi Hydraulic Pneumatic	4
2.1.1 Kinerja Sistem Suspensi Pada Kendaraan	6
1. Siklus Kompresi	6
2. Siklus Ekspansi	7
2.2 Gaya Pegas	7
2.3 Redaman Pada Suspensi <i>Hydraulic Pneumatic</i>	10



2.3.1	Persamaan Bernoulli	11
2.3.2	Respon gaya redam pada suspensi <i>Hydraulic Pneumatic</i>	12
2.4	<i>Track Chain Wheels</i>	16
2.5.	Pemodelan Dinamis Kendaraan Grandmax PU 1.3 STD	18
2.5	PID Controlller.....	21
2.6	Quarter Car Model Vibration	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Diagram Alir Penelitian Dan Analisa	27
3.2	Studi Literatur	28
3.3	Desain Gambar.....	28
3.3.1	Spesifikasi Kendaraan Grand Max PU 1.3 STD	28
3.3.1	Desain Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	29
3.3.2	<i>Accumulator Gas (Pneumatic)</i>	32
3.3.3	Desain Mattrack	33
3.4	Pengujian Desain Sistem Suspensi <i>Hydraulic Pneumatic</i>	35
3.4.1	Input Sinusoidal	35
3.4.2	<i>Tuning PID Controller</i>	37
3.4.3	Pengujian Sistem Suspensi <i>Hydraulic Pneumatic</i>	38
3.4.4	Pengujian Sistem <i>Quarter Car</i> Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	39
3.4.5	Simulasi MATLAB	40
3.4.6	Diagram Blok Sistem Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	42
3.4.7	Diagram Blok <i>Quarter Car</i>	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Respon Gaya Redam Dan Gaya Pegas Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i> ..	46
4.1.1	Respon Gaya Redam Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	46
4.1.2	Respon Gaya Pegas Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	48



4.2 Analisa Respon Gerakan Osilasi Dinamis Perpindahan Seperempat Kendaraan Menggunakan Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	50
4.3 Analisa Respon Gerakan Osilasi Dinamis <i>Mattrack</i> Menggunakan Suspensi <i>Hydraulicpneumatic</i>	53
BAB V PENUTUP	55
5.1 KESIMPULAN	55
5.2 SARAN	56
DAFTAR PUSTAKA	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hydraulicpneumatic suspension Citroen BX [3].	4
Gambar 2.2 Model sistem suspensi <i>hydraulicpneumatic</i> [6].	5
Gambar 2.3 Model suspensi hydraulicpneumatic dengan sistem model setengah kendaraan dengan dua silinder accumulator gas [7].	6
Gambar 2.4 Siklus kompresi dan ekspansi [8].	7
Gambar 2.5 Grafik gaya pegas linier [15].	10
Gambar 2.6 Grafik gaya pegas non-linier [16].	10
Gambar 2.7 Penerapan hukum Bernoulli pada sebuah pipa.	11
Gambar 2.8 Gambar grafik damper force vs velocity [18].	12
Gambar 2.9 Grafik gaya redan terhadap kecepatan shock absorber konvensional pada kendaraan Grandmax PU [19].	13
Gambar 2.10 Mattracks [27].	17
Gambar 2.11 Spesifikasi <i>mattrack</i> .	18
Gambar 2.12 Spesifikasi Daihatsu Grandmax.	19
Gambar 2.13 Pemodelan dinamis kendaraan Grandmax PU 1.3 STD.	19
Gambar 2.14 Ilustrasi pemodelan setengah kendaraan [29].	20
Gambar 2.15 Blok Diagram suspensi PID <i>controller</i> .	21
Gambar 2.16 Blok diagram sistem PID ideal.	22
Gambar 2.17 Blok diagram sistem PID parallel.	23
Gambar 2.18 Blok diagram sistem PID series.	23
Gambar 2.19 <i>Quarter Car Model</i> [31].	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	27
Gambar 3.2 Desain suspensi hydraulicpneumatic.	30
Gambar 3.3 Desain bagian suspensi.	31
Gambar 3.4 Accumulator Gas.	32
Gambar 3.5 Desain Bagian Accumulator Gas.	33
Gambar 3.6 Desain <i>mattrack</i> .	34
Gambar 3.7 Desain bagian <i>mattrack</i> .	34
Gambar 3.8 Desain keseluruhan suspensi <i>hydraulicpneumatic</i> .	35
Gambar 3.9 Input sinusoidal besar amplitudo 20 mm dengan frekuensi 0.5 Hz.	37



Gambar 3.10 Sistem blok diagram PID controller ideal.....	38
Gambar 3.11 Script.	40
Gambar 3.12 Proses input parameter yang akan disimulasi.....	41
Gambar 3.13 Menjalankan Simulink.....	41
Gambar 3.14 Menjalankan simulasi.....	42
Gambar 3.15 Hasil simulasi Simulink.....	42
Gambar 3.16 Blok diagram Suspensi.....	43
Gambar 3.17 Blok diagram accumulator gas.	43
Gambar 3.18 Blok diagram subsystem suspensi Blok diagram suspensi hydraulicpneumatic.....	44
Gambar 3.19 Input sinusoidal pada blok sine wave	44
Gambar 3.20 Blok diagram profil jalan menggunakan input gelombang sinus. .	45
Gambar 3.21 Blok diagram quarter car.....	45
Gambar 4.1 Grafik respon gaya redam suspensi hydraulicpneumatic terhadap kecepatan piston	47
Gambar 4.2 Grafik gaya redam suspensi hydraulicpneumatic terhadap waktu ..	47
Gambar 4.3 Siklus kompresi gaya pegas terhadap perpindahan floating piston.	48
Gambar 4.4 Siklus ekspansi gaya pegas terhadap perpindahan floating piston.	49
Gambar 4.5 Grafik gaya pegas accumulator gas suspensi hydraulicpneumatic terhadap perpindahan <i>floating</i> piston	49
Gambar 4.6 Grafik gaya pegas accumulator gas suspensi hydraulicpneumatic terhadap waktu.	50
Gambar 4.7 Grafik perpindahan seperempat kendaraan terhadap waktu dengan input sinusoidal 2 cm dan frekuensi 0.5 Hz.....	51
Gambar 4.8 Grafik respon kecepatan kendaraan terhadap waktu dengan input sinusoidal 2 cm dan frekuensi 0.5 Hz.....	52
Gambar 4.9 Grafik respon percepatan kendaraan terhadap waktu dengan input sinusoidal 2 cm dan frekuensi 0.5 Hz.....	52
Gambar 4.10 Grafik perbandingan dari input sinusoidal dengan amplitudo 20 mm memiliki frekuensi 0,5 Hz dan mattrack.....	54



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efek Peningkatan Parameter.....	23
Tabel 3.1 Spesifikasi Daihatsu Grand Max PU 1.3 STD.....	29
Tabel 3.2 Material pada suspensi.....	31
Tabel 3.3 Material accumulator gas.....	33
Tabel 3.4 Parameter sistem suspensi <i>hydraulicpneumatic</i>	39
Tabel 3.5 Parameter sistem quarter car.....	40
Tabel 4.1 Nilai perpindahan, kecepatan dan percepatan seperempat kendaraan.....	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Perancangan.....	63
Lampiran 2 Kode Input Parameter Pengujian	89
Lampiran 3 Fungsi Blok Simulink	94
Lampiran 4 Algoritma Simulink	97



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Riset

Indonesia sebagai negara agraria yang sebagian besar masyarakatnya bermata pencaharian sebagian petani. Akan tetapi sampai saat ini negara Indonesia masih kesulitan dalam mengatasi masalah penggunaan teknologi modern di bidang pertanian, dikarenakan perkembangan teknologi pertanian di Indonesia masih belum memadai. sebagai contoh penggunaan teknologi modern pada pengangkutan hasil panen, dikarenakan sebagian daerah di negara Indonesia mempunyai tekstur permukaan tanah yang tidak rata. Oleh karena itu teknologi memiliki peran penting dalam mengatasi permasalahan-permasalahan pertanian tersebut. Penggunaan teknologi pertanian yang terus dikembangkan. Penggunaan kombinasi *HydraulicPneumatic Suspension System* dan *Mattracks* pada proses pendistribusian hasil pertanian di harapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut.

Suspensi merupakan komponen penting bagi kendaraan yang dapat mempengaruhi kenyamanan dalam berkendara dan menjaga kestabilan untuk keselamatan berkendara [1]. Adapun suspensi diklasifikasikan secara umum yaitu *passive*, *semi active* dan *active*, klasifikasi ini disesuaikan tergantung pada jumlah daya eksternal yang diperlukan agar di setiap sistem suspensi dapat menjalankan fungsinya [2]. Dari klasifikasi suspensi mempunyai beberapa jenis di setiap klasifikasinya, terutama suspensi *hydraulic pneumatic* yang sering dijadikan sebagai suspensi untuk kendaraan alat berat seperti yang di analisa oleh *Küçük, Kahraman dari Selçuk University, Konya*, Turki tentang sistem suspensi dalam meredam gaya yang ditimbulkan dari permukaan jalan serta sistem pegas yang berfungsi sebagai penyebab terjadinya *rebound* dari gaya yang dihasilkan dari gaya redam fluida yang terkompresi masuk melalui *orifice* yang mendorong gas yang bertekanan. Sistem suspensi *hydraulic pneumatic* hampir sama dengan sistem suspensi pada umumnya hanya saja pada pegas suspensi *hydraulic pneumatic* menggunakan gas yang bertekanan [3]. Sistem suspensi *hydraulic pneumatic* pertama kali dikenalkan oleh *Paul Mag`es* pada tahun 1940 [4].

Untuk mengatasi permasalahan dari kontur tanah yang tidak rata dan berlumpur dalam distribusi hasil pertanian yang menyebabkan terjadinya kendaraan tidak melaju secara optimal atau selip pada ban, maka penggunaan ban radial yang bergeometri lingkaran diganti dengan penggunaan *matrack* atau *triangle wheel* yang memiliki geometri *triangle* atau segitiga serta memiliki *track shoe* yang diharapkan dapat mengatasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain suspensi *hydraulicpneumatic* menggunakan jenis *track chain wheels* model *triangle wheels* atau *matrack* sebagai pengganti roda?
2. Bagaimana pengaruh gaya redam dan gaya pegas terhadap gerakan osilasi kendaraan disaat terjadinya getaran yang ditimbulkan dari permukaan jalan dan *matracks*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja gas dipengaruhi oleh proses *adiabatic* yang tidak mengalami perpindahan panas.
2. Fluida gas menggunakan gas nitrogen.
3. Fluida cair menggunakan minyak dengan standar ASTM D 1298.
4. Fluida kerja minyak pada silinder hidrolis diasumsikan *incompressible*.
5. Pengujian dilakukan pada suspensi belakang kendaraan Daihatsu Granmax PU 1.3 STD.
6. Pengujian dilakukan untuk melihat respon osilasi harmonik seperempat kendaraan dan *matrack* dari input sinusoidal.
7. Penentuan parameter PID *controller* dengan metode *self-tuning*.

1.4 Tujuan Riset

Adapun tujuan riset ini diantaranya yaitu:

1. Mendesain serta memodelkan suspensi *hydraulic pneumatic* dan *matracks* dengan menggunakan aplikasi Solidwork.



2. Memodelkan dan menganalisa gaya redam fluida yang terkompresi melalui *orifice* serta pengaruh fluida gas sebagai pegas yang ditimbulkan dari gaya getaran pada sistem suspensi *hydraulic pneumatic*
3. Mengoptimalkan performa kendaraan dari hasil getaran yang ditimbulkan oleh kondisi jalan serta kecepatan kendaraan dengan menggunakan *mattrack* sebagai pengganti ban.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Nie, F. Wang, X. Zhang, and Y. Yang, "Design and test of hydro-pneumatic ISD suspension in heavy multi-axle vehicles," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 13, no. 11, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1177/16878140211064737.
- [2] W. Bauer, *Hydropneumatic suspension systems*. 2011. doi: 10.1007/978-3-642-15147-7.
- [3] L. Konieczny, R. Burdzik, and T. Węgrzyn, "Analysis of structural and material aspects of selected elements of a hydropneumatic suspension system in a passenger car," *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 61, no. 1, pp. 79–83, 2016, doi: 10.1515/amm-2016-0018.
- [4] H. Zhang and X. Fang, "Research on Damping Characteristics of Interconnected Hydropneumatic Suspension considering the Effects of Hose and Check Valve," *Shock and Vibration*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5526106.
- [5] J. R. Cho, H. W. Lee, W. S. Yoo, and J. K. Lee, "Study on damping characteristics of hydropneumatic suspension unit of tracked vehicle," *KSME International Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 262–271, 2004. doi: 10.1007/BF03184736.
- [6] J. a Razenberg, "Modelling of the hydro-pneumatic suspension system of a rally truck," no. September, 2009.
- [7] D. Cao, *Theoretical analyses of roll- and pitch-coupled hydro-pneumatic strut suspensions*. Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada, 2008.
- [8] A. Y. U. A. Hakim, P. Sarjana, J. T. Mesin, and F. T. Industri, "Pengaruh Perubahan Parameter Variable Orifice Sistem Suspensi Hidrolik Terhadap Gaya Dinamis Penumpang Pada Sepeda Motor Honda Beat 2009 of

- Parameter Variations in Orifice Hydraulic Suspension System To the Damping Force Generated and Dynamic Respond of P,” 2017.
- [9] C. This Version, N. ; Docquier, P. ; Fisette, and H. Jeanmart, “Influence of Heat Transfer on Railway Pneumatic Suspensions Dynamics,” 2009. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2078.1/81161>
- [10] K. Küçük, H. K. Yurt, K. B. Arikan, and H. Imrek, “Modelling and optimisation of an 8×8 heavy duty vehicle’s hydro-pneumatic suspension system,” *International Journal of Vehicle Design*, vol. 71, no. 1, pp. 122–138, 2016, doi: 10.1504/IJVD.2016.078772.
- [11] H. Hammad, A. Salem, I. Mostafa, and I. Elsherif, “Modeling of Hydrogas Unit for Tracked Vehicle Suspension,” *International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology*, vol. 16, no. AEROSPACE SCIENCES, pp. 1–12, 2015, doi: 10.21608/asat.2015.22887.
- [12] H. Zhang, X. Guo, L. Xu, S. Hu, and Z. Fang, “Parameters analysis of hydraulic-electrical energy regenerative absorber on suspension performance,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/836502.
- [13] S. F. Van Der Westhuizen and P. Schalk Els, “Comparison of different gas models to calculate the spring force of a hydropneumatic suspension,” *J Terramech*, vol. 57, pp. 41–59, 2015, doi: 10.1016/j.jterra.2014.11.002.
- [14] F. R. Joo, “Dynamic analysis of a hydropneumatic suspension system.” 1991.
- [15] “DESIGN OF AN OPTIMAL SLIDING MODE CONTROLLER FOR AN ACTIVE SUSPENSION CONSIDERING NON-LINEAR QUARTER CAR MODEL”, doi: 10.13140/RG.2.2.10300.77440.
- [16] J. Wang, K. Lv, H. Wang, S. Guo, and J. wang, “Research on nonlinear model and fuzzy fractional order $PI\lambda D\mu$ control of air suspension system,” *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, vol. 41, no. 2, pp. 712–731, Jun. 2022, doi: 10.1177/14613484211051854.



- [17] D. A. N. Gaya, P. Serta, and R. Dinamis, “Pemodelan Perubahan Parameter Sistem Suspensi Hydro-Pneumatic Terhadap Gaya Redam Modeling and Analysis Parameter Changes Pneumatic Suspension the Damping Force and and Also the Dynamic of the Effect of in the Hydro- System Towards,” 2016.
- [18] J. Warczek, J. Młyńczak, R. Burdzik, and Ł. Konieczny, “Simulation of a visco-elastic damper based on the model of the vehicle shock absorber,” *Journal of Vibroengineering*, vol. 17, no. 4, pp. 2040–2048, 2015.
- [19] F. T. Industri, “ATMOSPHERIC PRESSURE ABSORBER (APSA) DENGAN DIAMETER SILINDER 70 MM DAN DIAMETER ORIFICE 1-2 MM PADA,” pp. 1–105, Jan. 2018.
- [20] W. Wu, H. Tang, S. Zhang, L. Hu, and F. Zhang, “High-Precision Dynamics Characteristic Modeling Method Research considering the Influence Factors of Hydropneumatic Suspension,” *Shock and Vibration*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8886631.
- [21] F. Sağlam and Y. S. Ünluşoy, “State Dependent Riccati Equation Control of an Active Hydro-Pneumatic Suspension System,” in *International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics*, 2014. doi: 10.11159/jacr.2014.001.
- [22] D. wiguna Alan and L. G. Harus, “RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KARAKTERISTIK DINAMIS ATMOSPHERIC PRESSURE SHOCK ABSORBER (APSA) DENGAN DIAMETER SILINDER 70 MM DAN DIAMETER ORIFICE 1-2 MM PADA KENDARAAN ANGKUT,” p. 105, 2018.
- [23] P. Awasthi and Y. M. Engineer, “Review paper on Ordinary suspension system and GINAF rally car Hydropneumatic suspension system”.
- [24] D. Inman, “DAMPING MODELS,” *Encyclopedia of Vibration*, pp. 335–342, Jan. 2001, doi: 10.1006/RWVB.2001.0060.
- [25] M. Ghulam and M. Talukder, “Similarity Solutions of Nonlinear Stretched Biomagnetic Flow and Heat Transfer with Signum Function and

Temperature Power Law Geometries Parametric study of biomagnetic fluid View project,” 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/325102313>

- [26] B. Bandanadjaja, “PERANCANGAN MATERIAL CORAN BAJA LINK TRACK UNTUK BUCKET WHEEL EXCAVATOR BATUBARA MATERIAL DESIGN OF LINK TRACK STEEL CASTING FOR COAL,” pp. 47–63.
- [27] X. Zhao, X. Mu, H. Guo, and Z. Zhao, “The Development and Application of the Replaceable Triangle Track Wheel,” no. Iccia, pp. 1–3, 2016, doi: 10.2991/iccia-16.2016.52.
- [28] Z. Hu and K. Yao, “Development and design on the rubber conversion track wheel,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 215–216, pp. 1085–1088, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.215-216.1085.
- [29] M. E. Institute of Electrical and Electronics Engineers Region Europe, Annual IEEE Computer Conference, L. IEEE AFRICON 10 2011.09.13-15 Victoria Falls, and L. IEEE Region 8 AFRICON 10 2011.09.13-15 Victoria Falls, *AFRICON, 2011.09.13-15 Victoria Falls, Livingstone, Zambia*.
- [30] M. Jamil, S. Zafar, and S. O. Gilani, “Designing PID controller based semi-active suspension system using MATLAB simulink,” in *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, Springer Verlag, 2018, pp. 282–295. doi: 10.1007/978-3-319-94180-6_27.
- [31] Anirban. C. M. Trupti P. Phalke, “Design and Analysis of Vehicle Suspension System,” *International Engineering Research*, pp. 162–172.
- [32] T. A. Nguyen, “Improving the Comfort of the Vehicle Based on Using the Active Suspension System Controlled by the Double-Integrated Controller,” *Shock and Vibration*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/1426003.



- [33] E. Budi, “Kajian Fisis pada Gerak Osilasi Harmonis,” *Pengembangan Pendidikan Fisika*, vol. 1, no. 2, 2015, doi: 10.21009/1.
- [34] Z. Wang, M. Dong, Y. Qin, Y. Du, F. Zhao, and L. Gu, “Suspension system state estimation using adaptive Kalman filtering based on road classification,” *Vehicle System Dynamics*, vol. 55, no. 3, pp. 371–398, Mar. 2017, doi: 10.1080/00423114.2016.1267374.
- [35] D. A. Sumantri, M. Helmi, and M. Isneini, “EVALUASI NILAI SISA KAPASITAS JEMBATAN VOIDED SLAB WAY BAKO I BERDASARKAN PERATURAN PEMBEBANAN SNI 1725-2016 dan PPJIR No. 12/1970,” *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, vol. 25, no. 1, pp. 1–4, Apr. 2021, doi: 10.23960/rekrjits.v25i1.5.
- [36] L. L. Myagkov, K. Makhkamov, N. D. Chainov, and I. Makhkamova, “Advanced and conventional internal combustion engine materials,” in *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation*, Woodhead Publishing, 2014, pp. 370–397, doi: 10.1533/9780857097422.2.370.
- [37] S. Li and Q. Yuan, “Study on electrodeposition of CoNiW coating on 1045 steel as piston ring materials and its wear resistance performance,” *Int J Electrochem Sci*, vol. 18, no. 1, pp. 38–44, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.ijoes.2023.01.012.
- [38] E. Fattahillah and S. Darmo, “Identifikasi material dan perhitungan kembali tegangan tangensial barrel rear suspension dump truck EH 5000,” *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, vol. 2, no. 2, p. 22, Dec. 2021, doi: 10.22146/jmtp.69098.
- [39] K. A. Wamura, “AN EVALUATION OF ROAD ROUGHNESS AND THE EFFECTS ON RIDING COMFORT AND VEHICLE DYNAMICS,” vol. 137, no. 359, 1985.

- [40] B. Qin, Y. Chen, Z. Chen, and L. Zuo, "Modeling, bench test and ride analysis of a novel energy-harvesting hydraulically interconnected suspension system," *Mech Syst Signal Process*, vol. 166, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.ymssp.2021.108456.
- [41] A. Djellal and R. Lakel, "Adapted reference input to control PID-based active suspension system," *Journal Europeen des Systemes Automatises*, vol. 51, pp. 7–23, 2018, doi: 10.3166/JESA.51.7-23.
- [42] S. K. Pandey and V. Laxmi, "Control of twin rotor MIMO system using PID controller with derivative filter coefficient," in *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, SCEECS 2014*, IEEE Computer Society, 2014. doi: 10.1109/SCEECS.2014.6804451.
- [43] A. Tiwari, S. More, and A. Shahane, "STUDY OF ROAD HOLDING AND RIDE COMFORT ANALYSIS WITH THE HELP OF QUARTER CAR MODEL," *International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR) www.ijedr.org*, vol. 3, 2018. [Online]. Available: www.ijedr.org

