JURNAL PERANCANGAN, MANUFAKTUR, MATERIAL, DAN ENERGI (JURNAL PERMADI)
Vol. 6., No. 1, Januari 2024, pp. 10-24
ISSN 1570009926
https://permadi.nusaputra.ac.id/index

Desain Dan Analisa Performa Suspensi *Hydraulicpneumatic Suspension System* Kendaraan Pertanian Berbasis *Mattrack*

Ghuraf Hasbi A [a,1,*], Heppi Familiana [a]

[a]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Address, Sukabumi, Indonesia, 43152
[1]ghuraf_hasbi_tm18@nusaputra.ac.id [2]heppi_familiana@nusaputra.ac.id
* Corresponding Author

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 of hydraulicpneumatic suspension and mattrack designed using the SOLIDWORK application is expected to be able to overcome the distribution of harvests by adjusting the Daihatsu Grandmax PU 1.3 STD vehicle and is designed to make the installation or maintenance process easier compared to common hydraulicpneumatic suspensionsl. 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. Tests were carried out on the rear wheels with a quarter system model of the vehicle, by replacing the conventional suspension with a hydraulicpneumatic suspension, which produces harmonic oscillation movements of the vehicle that are smaller than the road profile conditions, which states that the hydraulicpneumatic suspension can reduce vibrations and oscillatory movements caused by the mattrack conditions. The road that causes the distribution process can be resolved to avoid excessive vibrations, and experiences a stable condition at 6.2 seconds.

KEYWORDS
Damping force; Hydraulicpneumatic suspension; Mattrack; PID; Spring Force

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 serta dirancang untuk memudahkan dalam proses pemasangan atau perawatan ketimbang suspensi *hydraulicpneumatic* pada umumnya. 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 menghasilkan gerakan osilasi harmonik dari kendaraan lebih kecil dibanding dengan kondisi profil jalan yang menyatakan suspensi *hydraulicpneumatic* dapat meredam getaran serta gerakan osilasi yang diakibatkan oleh *mattrack* dari kondisi jalan yang mengakibatkan proses distribusi dapat teratasi guna menghindari getaran yang berlebih, dan mengalami kondisi stabil pada detik 6,2.

KEYWORDS
Gaya pegas; Gaya Redam; Mattrack; PID; Suspensi hidrolik penumatik

This is an open-access article under the CC–BY-SA license

1. Pendahuluan

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

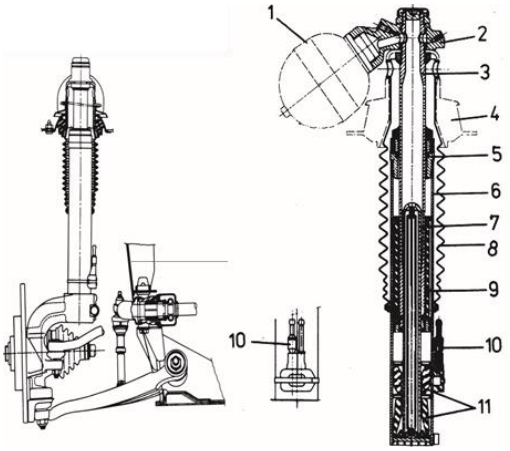
yang tidak rata. Oleh karena itu teknologi memiliki peran penting dalam mengatasi permasalahan-permasalahan pertanian tersebut. Penggunaan teknologi pertanian yang terus dikembangkan. Penggunaan kombinasi *HydraulicPneumatic Suspension System* dan *Mattracks* pada proses pendistribusian hasil pertanian 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].

2. Studi Literatur

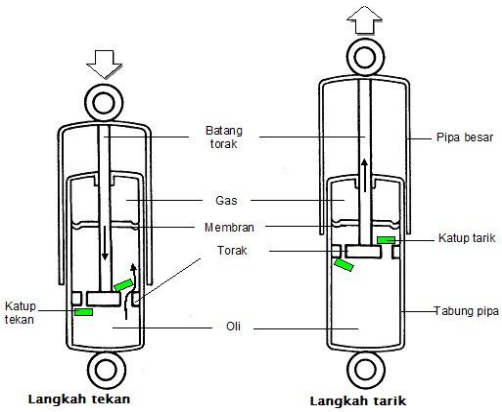
2.1 Sistem Suspensi *Hydraulicpneumatic*

Suspensi merupakan bagian penting dalam kendaraan dalam menjaga mobilitas kendaraan. Suspensi mempunyai beberapa jenis seperti suspensi yang memiliki keunggulan dengan menggunakan fluida cair dan gas dalam merespon gerakan dari roda kendaraan.



Gambar 1. Suspensi *hydraulicpneumatic* Citroen *BX* [3].

Siklus kompresi pada sistem suspensi *hydraulic pneumatic* terjadi pada saat piston bergerak naik ke atas yang akan mendorong minyak fluida masuk ke *orifice* yang menuju *accumulator* gas kemudian akan mendorong *floating piston*. Untuk siklus kompresi pada sistem suspensi *hydraulic pneumatic* terdapat tiga *orifice*, yang pertama dan kedua terdapat pada piston dan *orifice* yang ketiga terdapat pada laju aliran pada *accumulator* gas. Pada *orifice* yang terdapat pada piston memiliki membran yang mempunyai sistem buka tutup disaat adanya siklus kompresi dan ekspansi, pada saat terjadinya gaya yang ditimbulkan oleh roda atau permukaan jalan, minyak yang berada di ruang *cylinder* akan naik terdorong ke atas akibat adanya gerakan piston pada saat terjadinya gerakan perpindahan piston katup yang berada pada *orifice* di piston akan terbuka satu sementara yang lain akan menutup sehingga minyak akan masuk ke *orifice* mendorong katup pada *orifice* yang berada pada piston.



Gambar 2. Siklus kompresi dan ekspansi [5].

Pada saat terjadinya siklus ekspansi, piston yang berada pada *cylinder* akan bergerak ke bawah. Pada saat adanya gerakan piston yang bergerak ke bawah minyak yang berada di bawah akan tertekan dan akan mencari jalan keluar agar tidak tertekan oleh piston, maka minyak ini akan mendorong katup pada *orifice* yang berada pada piston di bagian atas piston dan minyak akan keluar melalui saluran *orifice*. Sementara itu katup *orifice* yang berada pada piston akan menutup karena berada di bawah piston. Maka dari itu minyak yang akan keluar lambat karena melalui *orifice* yang memiliki lubang kecil, pada saat itulah suspensi melakukan peredaman terhadap gaya osilasi pegas suspensi.

2.2 Respon Gaya Pegas Suspensi *Hydraulicpneumatic*

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, untuk respon gaya pegas terjadi ketika fliuda cair yang terkompresi masuk melalui *orifice* yang akan mendorong *floating* piston di *accumulator* gas yang mengalami kesetimbangan pada piston dengan bergerak dari titik nol ke atas dan kebawah. Dikarenakan menggunakan *twin chamber* pada penelitian ini maka persamaan gaya pegas F_s [6] sebegai berikut.

$$F_s = (P_3 - P_{atm}) \cdot A_f - (P_4 - P_{atm}) \cdot A_f \quad [1]$$

P_3 dan P_4 sebagai tekanan dari perpindahan gerakan *floating* piston di kedua *accumulator* gas, untuk mengetahui P_3 dan P_4 dengan memberikan persamaan *Boyle Laws* [7].

$$P_3\, V_3^{\gamma} = P_4 V_4^{\gamma} = P_0 V_0^{\gamma} \quad [2]$$

Untuk perubahan volume gas yang dialami di kedua silinder terdapat *flaotng* piston, maka untuk mengetahui perubahan volume yang diakibatkan oleh perpindahan *floating* piston [8].

$$V_3 = V_{30} - A_f(x_s - x_u) \quad [3]$$
$$V_4 = V_{40} + A_f(x_s - x_u) \quad [4]$$

Saat terjadinya perubahan volume pada *accumulator* gas tekanan akan ikut berubah dari perpindahan *floating* piston $(x_s - x_u)$, semakin gas mengalami perubahan volume maka tekanan akan berubah dengan berbanding terbalik, apabila volume berkurang maka tekanan gas akan bertambah dan sebaliknya, yang disebabkan adanya fluida cair serta gerakan osilasi dari roda kendaraan dengan mennggunakan persaaman [9] sebagai berikut.

$$F_s = \frac{(P_{30}\, V_{30}^{\gamma})}{V_3^{\gamma}} - \frac{(P_{40}\, V_{30}^{\gamma})}{V_4^{\gamma}} = \frac{(P_{30}\, V_{30}^{\gamma})}{[V_{30} - A_f(x_s - x_u)]^{\gamma}} - \frac{(P_{40}\, V_{40}^{\gamma})}{[V_{40} + A_f(x_s - x_u)]} \quad [5]$$

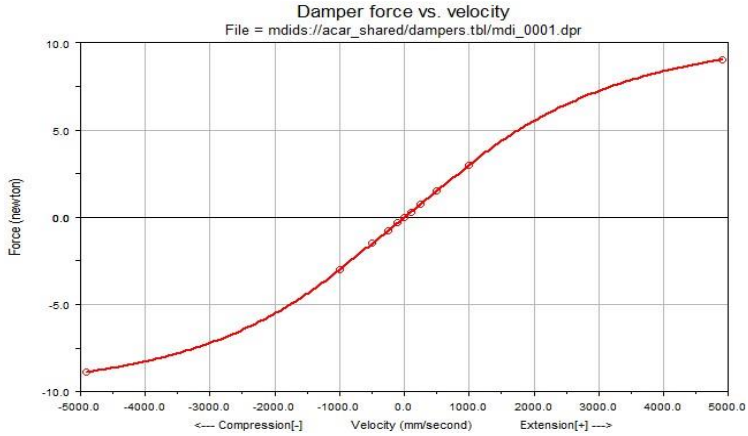
Pada *accumulator* gas P_{30} dan P_{40} (Pa) sebagai tekanan awal di kedua silinder, V_{30} dan V_{40} (m^3) sebagai volume awal di kedua silinder yang terkompresi. Dengan n sebagai perubahan politropik keadaan gas [10] dijelaskan bahwa konstanta politropik n dari 1 menghasilkan proses isothermal sedangkan $1 < n < \gamma$ menghasilkan proses politropik adiabatik jika $n = \gamma$, yang menghasilkan proses adiabatik yang tidak terjadi perpindahan panas antara gas dan sekitarnya. Untuk konstanta politropik gas nitrogen yaitu $\gamma \approx 1.4$ [11]. Maka persamaan gaya pegas (F_s) yang dihasilkan [12] sebagai berikut.

$$F_s = A_f \cdot \left[\left(\frac{(P_{30}\, V_{30}^{\gamma})}{[V_{30} - A_f(x_s - x_u)]^{\gamma}} - P_{atm}\right)\right] - A_f \cdot \left[\left(\frac{(P_{40}\, V_{40}^{\gamma})}{[V_{40} + A_f(x_s - x_u)]} - P_{atm}\right)\right] \text{ [6]}$$

Dari penelitian yang dilakukan oleh Farshid menyatakan bahwa jika defleksi suspensi kurang dari 0,1 m maka gaya pegas dapar dianggap linier tapi jika melebihi dari 0,1 maka perbedaan pertimbangan linier dan nonlinier akan semakin besar [13] seperti pada gambar 3.

2.3 Respon Gaya Redam Suspensi *Hydraulicpneumatic*

Respon gaya redam yang terjadi pada suspensi ditimbulkan dari perpindahan batang piston yang mengalami silus kompresi dari fludia cair dengan asumsi negatif dan ekpansi dengan asumsi positif yang terjadi karena batang piston akan kembali atau melebihi dari titik kesetimbangan. Perubahan gaya redam terjadi berdasarkan kecepatan relatif dari piston yang disebabkan oleh pergerakan roda dari kondisi jalan yang menimbulkan gerakan gerakan naik dan turun [4]. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Warczek Jan tentang analisa gaya redam *visco elastic* menggunakan *shockabsorber* [14].



Gambar 3. Grafik gaya redam vs kecepatan [14].

Untuk mengetahui gaya redam pada suspensi *hydraulicpneumatic* menggunakan persamaan dari penelitian yang dilakukan oleh Wenguang Wu [15] dengan persamaan *Bernoulli* dan konservasi massa sebagai berikut.

$$F_d = \Delta P \cdot A_p \text{ [7]}$$

Dimana ΔP sebagai perubahan tekanan yang terjadi pada suspensi dan $A_p = \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4}\right)$ sebagai luas permukaan piston, serta minyak fluida diasumsikan inkompresibel dan dalam posisi kesetimbangan $\dot{z} = 0$ tidak akan mengalir melalui *orifice* sehingga gaya redam $F_d = 0$. Untuk volume aliran yang masuk melalui *orifice* pada silinder suspensi maka persamaan yang digunakan [16] sebagai berikut.

$$Q_1 = Cd \cdot A_p \cdot v_1 \text{ [8]}$$
$$Q_2 = A_p \cdot v_2 \text{ [9]}$$

Aliran yang masuk akan mendorong *floating* piston di akumulator gas yang akan menghasilkan gaya pegas lalu akan terjadi *rebound* dari *floating* piston, dengan menggunakan subtitusi persamaan konservasi massa [17] sebagai berikut.

$$v_1 = \frac{A_p \cdot v_2}{Cd \cdot A_o} = \frac{A_p \cdot (\dot{x}_s - \dot{x}_u)}{Cd \cdot A_o} \text{ [10]}$$

Dengan C_d = 0,65, sebagai koefisien *discharge* untuk sistem peredam [18]. Maka gaya redam yang dihasilkan oleh suspensi *hydraulicpneumatic* dengan menggunakan subtitusi persamaan *Bernoulli* dan konservasi massa [16].

$$F_{dk} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_p \cdot \left[\left(\frac{A_p \cdot (\dot{x}_s - \dot{x}_u)}{C_d\, A_0} \right)^2 \right] \cdot \left(sign(\dot{x}_s - \dot{x}_u) \right) \text{ [11]}$$

$$F_{dek} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(A_p - A_r \right) \cdot \left[\left(\frac{(A_p - A_r) \cdot (\dot{x}_s - \dot{x}_u)}{Cd \cdot A_o} \right)^2 \right] \cdot \left(sign(\dot{x}_s - \dot{x}_u) \right) \text{ [12]}$$

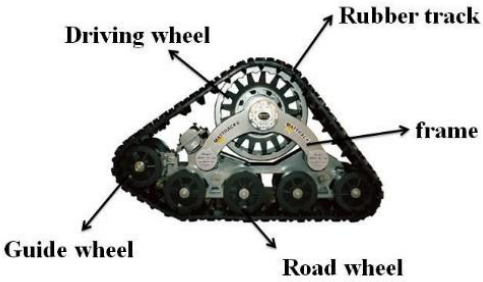
Untuk mengetahui total gaya redam pada suspensi dengan mensubtitusikan persamaan 11 dan 12, sebagai berikut.

$$F_d = (F_{dk} - F_{dek}) \text{ [13]}$$

Diketahui ρ sebagai densitas minyak, A_P sebagai luas permukaan piston, A_r sebagai luas permukaan batang piston, A_o sebagai luas permukaan *orifice*, Cd sebagai *coefficient discharge*, $\dot{x}_s - \dot{x}_u$sebgai kecepatan ekternal relatif silinder suspensi. Dengan menggunakan fungsi *signum*, karena gaya redam dapat diasumsikan sebagai fungsi *signum* [19] bahwa kecepatan piston sebagai bilangan *real* dalam bentuk nonlinier dengan fungsi signum [20].

2.4 *Mattrack*

Dengan menggunakan *mattrack* jenis dari *tracked chain wheel* dengan menggunakan rubber track dengan model geometri *triangle*. *Mattrack* digunakan karena dapat meningkatkan performa berkendara di area tanah yang sulit, mengurangi tekanan permukaan tanah terhadap kendaraan, rotasi yang fleksibel [21]. Serta masa pakai pemakaian mencapai lima belas ribu kilometer dan kecepatan maksimum bisa mencapai enam puluh kilometer perjam [22] jika dibandingkan dengan jenis *tracked chain wheel* yang lain dalam pemasangan jauh lebih mudah dan tentunya mengurangi getaran serta *noise* secara signifikan. Seperti pada gambar 4.

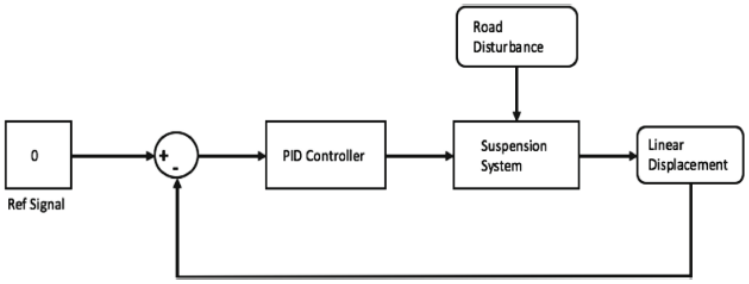


Gambar 4. *Mattracks*.

2.5 *PID Controller*

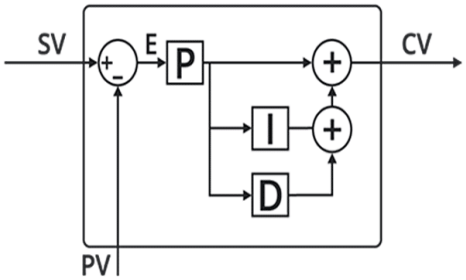
Penggunaan PID (*Proportional Integral* Derivative) *controller* digunakan untuk rekayasa sistem kontrol, yang berfungsi mengatasi kestabilan kendaraan atau menentukan aliran dan suhu. Adapun untuk PID memiliki tiga macam kendali yang dikombinasikan, *Proportional*, *Integral* dan

Derivative yang dimana parameter tersebut dapat menentukan kualitas respon dari suatu kontrol. Seperti yang di tunjukkan pada gambar 5 yang merupakan sistem dari PID *controller* [23].



Gambar 5. Blok Diagram suspensi PID *controller*.

Untuk P (*Proportional*) merupakan orde pertama karena hanya merespon keluaran satu kali setiap periode waktu yang menghasilkan sinyal keluaran dengan mengalikan *error signal* dengan *gain* atau peningkatan. I (*Integral*) merupakan orde ke dua, jumlah dari semua nilai sesaat dari dari mana sinyal itu berasal, ketika suku integral ditambahkan ke suku proporsional akan mempercepat pergerakan proses menuju titik yang yang diinginkan dan menghilangkan keadaan *steady state error* yang terjadi dengan kontrol P (*Proportional*) dan untuk D (*Derivativ*e) yang berfungsi untuk memperkirakan nilai kesalahan atau *error* masa depan dengan menganalisis penyimpangan, jika laju perubahan semakin besar maka laju tindakan akan cepat dan jika laju perubahan lambat maka tindakan korektif akan lambat dan tidakan *derivative* meningkatkan kinerja kontrol di sekitar kondisi *set point* karena bertindak sebagai laju perubahan pengontrol *outoput* [24]. Dengan menggunakan PID *controller* jenis Ideal, untuk sistem PID *controller* Ideal ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. PID *controller* Ideal.

Untuk persamaan PID *controller* Ideal ditujukkan pada persamaan 14, serta efektifitas penggunaan K_p, K_i, dan K_d yang dikontrol dengan adanya perubahan tergantung dari nilai parameternya, yang tertera pada tabel 1.

$$u(t) = K_p\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_d\frac{d}{dt}e(t)\right) \text{ [14]}$$

Tabel 1. Efek Peningkatan Parameter

No.	Parameter	K_p	K_i	K_d
1.	Rise Time	*Decrease*	*Decrease*	*Minor Change*
2.	Overshoot	*Increase*	*Increase*	*Decrease*
3.	Settling Time	*Small Change*	*Increase*	*Decrease*
4.	Steady-State Error	*Decrease*	*Eliminate*	*No Effect In Theory*
5.	Stabillity	*Degrade*	*Degrade*	*Improve if K_d Small*

Akan tetapi untuk persamaan PID *controller* Ideal dengan menggunakan simulink memiliki persamaan yang berbeda dengan persamaan 14, persamaan PID *controller* Ideal pada simulink

menggunakan persamaan *transform laplace* dengan subtitusi N sebagai natural untuk mengurangi sensitivitas kontroler terhadap *noise* yang tinggi [25] sebagai berikut.

$$u(t) = K_p\left(1 + T_i\frac{1}{s} + T_D\frac{N}{1+N\frac{1}{s}}\right) \text{[15]}$$

2.6 Pemodelan Dinamis Kendaraan Grandmax PU 1.3 STD

Pemodelan dinamis dilakukan untuk mengetahui berat kendaraan dari suatu titik yang akan dilakukan pengujian, terutama perlu diketahui juga spesifikasi dari berat keseluruhan kendaraan yang dipakai, untuk spesifikasi kendaraan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 2. Parameter Pemodelan Dinamis

No.	Nama	Ukuran	Satuan
1.	Berat total	1.950	gr
2.	Jarak sumbu roda	2.650	mm

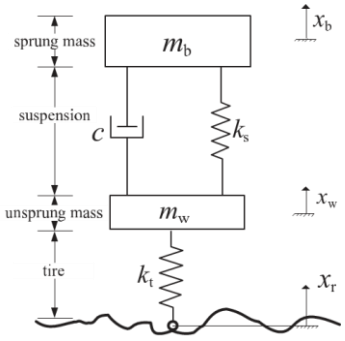
Pengujian dilakukan pada bagian belakang kendaraan Granmax PU 1.3 STD dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$+\circlearrowleft \sum M_\theta = 0$$
$$W_R \cdot L - W \cdot L_F = 0$$
$$W_R = W \cdot \frac{L_F}{L} \text{[16]}$$

Dimana W $(gram)$ sebagai berat total kendaraan, L (mm) sebagai jarak sumbu roda, L_F (mm) sebagai jarak sumbu roda dari titik tengah kendaraan.

2.7 *Quarter Car Model Vibration*

Sistem seperempat kendaraan kendaraan dalam menganalisa suspensi merupakan bagian dari teori getaran mekanis yang dimana akan menghasilkan gerakan osilasi berulang suatu benda atau sistem mekanik yang berubah secara berkala atau periodic yang melalui titik kesetimbangan [26] dengan menggunakan sistem suspensi *hydropenumatic* yang di tunjukkan pada gambar 7 [27].



Gambar 7. Model seperempat kendaraan.

Pemodelan kendaraan menggunakan 2DOF (Two Degree of Freedom) yang dimana DOF suatu sistem dari jumlah koordinat independen yang diperlukan untuk mendefinisikan gerakan. Dengan konstanta gaya redam dan gaya pegas digantikan dengan hasil gaya redam F_d dan gaya pegas F_s suspensi *hydraulicpneumatic*, berikut persamaan matematis 2DOF pada kendaraan Granmax PU 1.3 STD.

$$m_r\ddot{x}_s + c_s(\dot{x}_s - \dot{x}_u) + k_s(x_s - x_u) = 0$$
$$m_r\ddot{x}_s = -F_s(x_s - x_u) - F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u) \text{[17]}$$

Berikut persamaan *state variable* seperempat kendaraan.

$$\ddot{x}_s = \frac{1}{m_r}\left(-F_s(x_s - x_u) - F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u)\right)_{[18]}$$

$$\dot{x}_s = \frac{1}{m_r}\left(-F_s(x_s - x_u) - F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u)\right)_{[19]}$$

Berikut persamaan matematis 2DOF pada *mattrack*.

$$m_u\ddot{x}_u - k_r(x_u - x_u) + c_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) - F_s(x_s - x_u)F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u) = 0$$

$$m_u\ddot{x}_u = -k_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) - c_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) + F_s(x_s - x_u) + F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u)_{[20]}$$

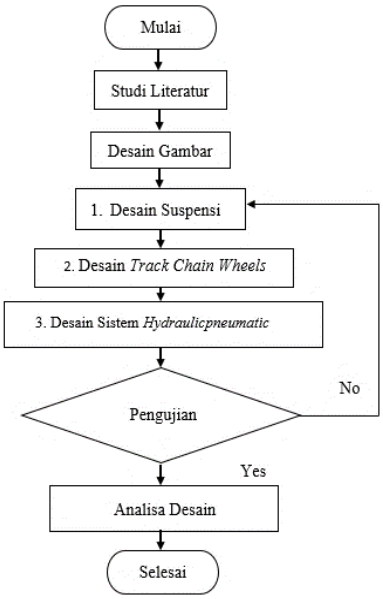
Berikut Persamaan *state variable* pada *mattrack*.

$$\ddot{x}_u = \frac{1}{m_u}\left(-k_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) - c_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) + F_s(x_s - x_u) + F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u)\right)_{[21]}$$

$$\dot{x}_u = \frac{1}{m_u}\left(-k_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) - c_r(\dot{x}_u - \dot{x}_r) + F_s(x_s - x_u) + F_d(\dot{x}_s - \dot{x}_u)\right)_{[22]}$$

3. Metodologi

.



Gambar 8. Diagram alir penelitian.

3.1 Desain Gambar

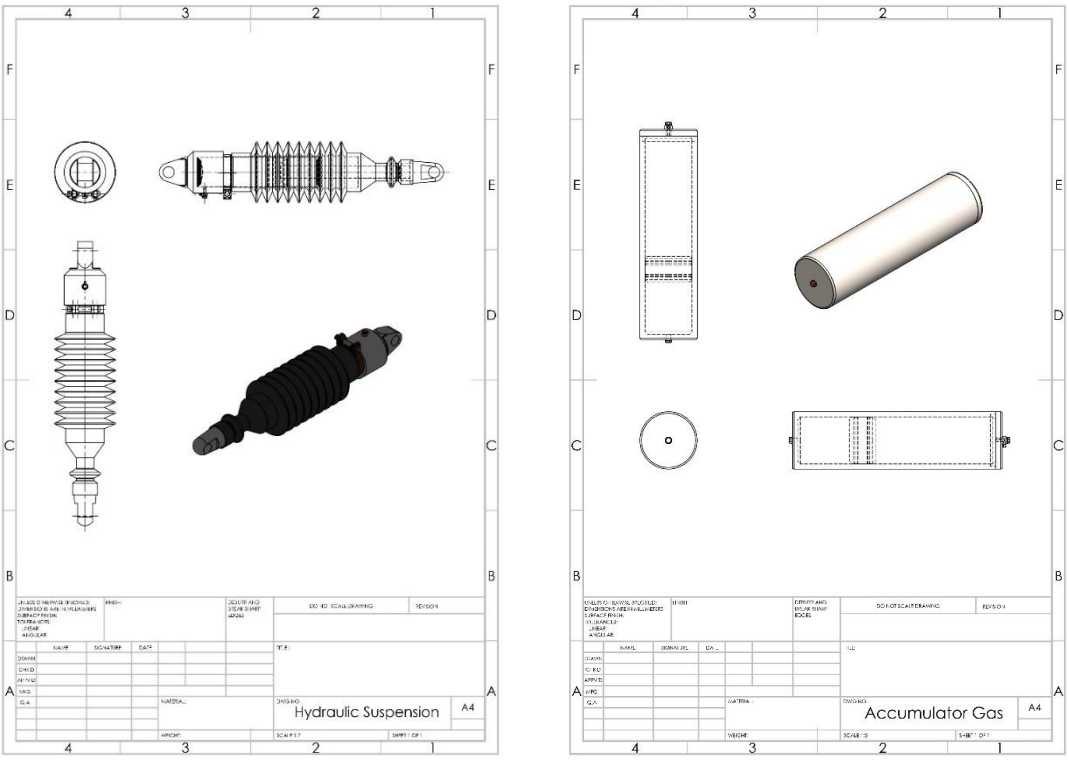
Desain gambar dilakukan dengan menggunakan aplikasi SOLIDWORK dengan dimensi dan ukuran menyesuaikan kendaraan Granmax PU 1.3 STD. yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifkasi Daihatsu Granmax PU 1.3 STD

No.	Nama	Satuan	Nilai
1.	Jarak sumbu roda	mm	2.650
2.	Lebar *chassis*	mm	57,1
3.	Tinggi *chassis*	mm	148,62
4.	Tebal *Chassis*	mm	10
5.	Tinggi minimum dari tanah	mm	175
6.	Diameter axle	mm	60,81
7.	Lebar *drum break*	mm	151,6
8.	Diameter *drum break*	mm	84,1

9.	Jumlah baut *Velg*	-	5

Desain pertama yaitu desain suspensi *hydraulicpneumatic* dengan dimensi dan ukuran yang ditunjukkan pada tabel 3. Adapun desain suspensi *hydraulicpneumatic* yang di tunjukkan pada gambar 8, dengan material bahan suspensi *hydraulicpneumatic* pada tabel 4.

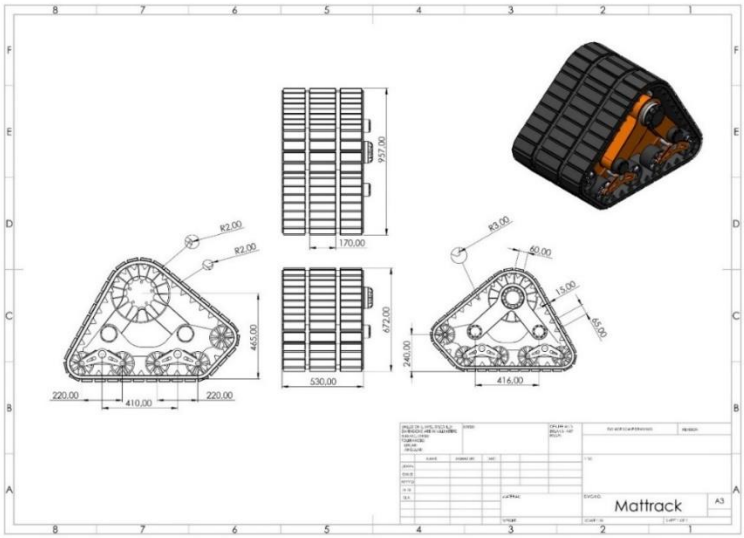


Gambar 9. Suspensi *hydraulicpneumatic* a) Suspensi b) *Accumulator* gas.

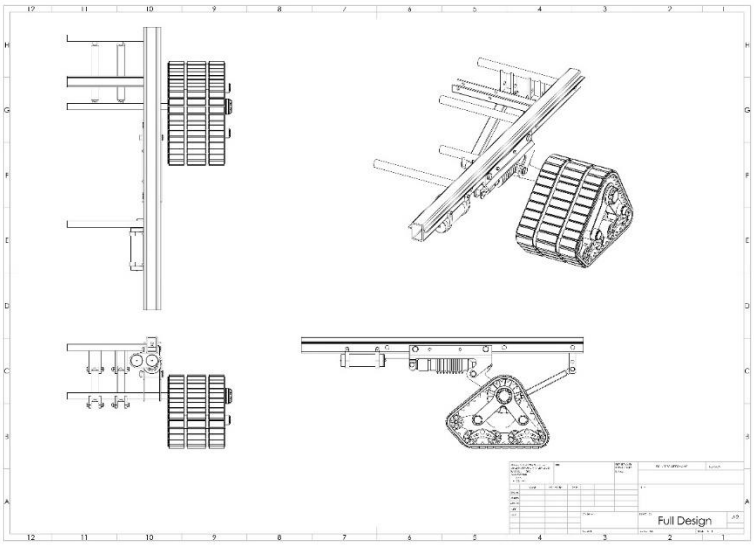
Tabel 4. Material Bahan Suspensi *Hydraulicpneumatic*.

Suspensi *Hydraulic*		
No.	**Nama Part**	**Material**
1.	*Ring oil* piston	Karet
2.	*Ring* piston	*Cast iron* [28]
3.	*Nepple*	Kuningan
4.	Piston	1045 *Steel* [29]
5.	*Cylinder tube* piston	Baja 27 *SiMn* [30]
6.	*Ring* piston	Karet
7.	*Top shield cylinder*	Karet
8.	*Bottom shield cylinder*	Karet
9.	*Shield suspension*	Karet
10.	*Cover bottom cylinder*	Baja 27 *SiMn* [30]
***Accumulator* Gas**		
No.	**Nama Part**	**Material**
1.	*Accumulator cylinder*	Baja 27 *SiMn* [30]
2.	*Ring* piston	*Cast iron* [28]
3.	*Nepple*	Kuningan
4.	*Floating* piston	1045 *Steel* [29]
5.	*Ring* piston	Karet
6.	*Cover bottom Accumulator cylinder*	Baja 27 *SiMn* [30]

Selanjutnya desain *mattrack* dengan dimensi yang disesuai dengan ukuran velg R13 dengan diameter sebesar 13 inchi atau 330,2 mm yang ditunjukkan pada gambar 10, serta desain assembly pada gambar 11 dengan adanya perubahan tinggi minimum menjadi 368,54 mm.



Gambar 10. Desain *mattrack*.



Gambar 11. Desain *assembly*.

3.2 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan aplikasi Matlab – Simulink dengan parameter yang ditentukan dari desain gambar suspensi *hydraulicpneumatic*. Pengujian menggunakan input berupa gelombang sinus dengan frekuensi sebesar 0,5 hz yang mengacu dari referensi dari penelitian Akira Kawamura untuk menentukan tingkat kenyamanan dalam berkendara dengan rentang 0,5 – 50 Hz [31]. Pengujian dilakukan dengan rentang waktu selama 20 detik serta amplitudo sebesar 20 mm. adapun untuk persamaan gelombang sinus sebagai berikut.

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Dimana A sebagai amplitudo ω sebagai frekuensi untuk radian/s dan t sebagai waktu, pemakaian ω dikarenakan input frekuensi menyesuaikan dengan input dari Simulink.

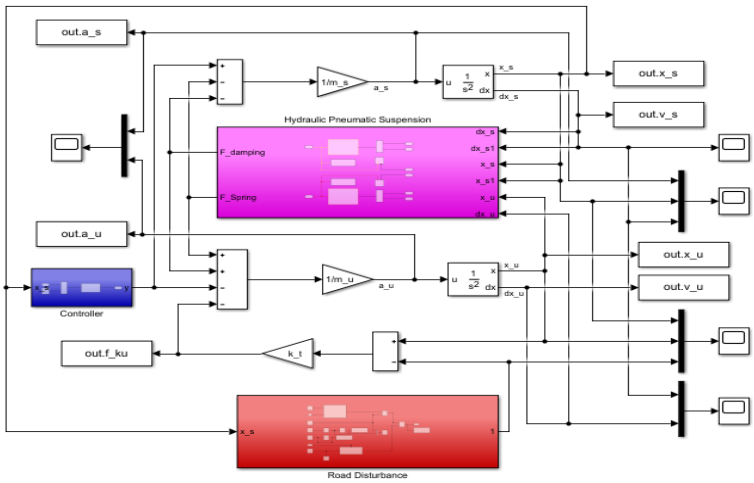
3.3 Pengujian Sistem Suspensi *Hydraulicpnuematic*

Dengan parameter yang didapatkan dari desain, pada tahap ini dilakukan pengujian dengan menggunakan persamaan yang dipakai sebagai input pada aplikasi Matlab – Simulink berikut parameter yang didapatkan dari desain pada tabel 5.

Tabel 5. Parameter sistem suspensi *hydraulicpneumatic*.

No.	Nama	Satuan	Nilai
1.	Diameter piston (D_p)	m	$7{,}8 \times 10^{-2}$
2.	Diameter *orifice cylinder* (D_o)	m	2×10^{-3}
3.	Diameter *floating* piston (D_f)	m	$7{,}8 \times 10^{-2}$
4.	Diameter batang piston (D_r)	m	$3{,}2 \times 10^{-2}$
4.	Densitas minyak (ASTM D 1289)	$\rho\ (kg/m^3)$	876
5.	Koefisien *discharge orifice*	-	0,65
6.	Konstanta pegas *mattrack* (k_t)	N/m	$1{,}2645 \times 10^6$
7.	Massa *mattrack* (m_u)	kg	172,365
8.	Massa kendaraan (m_s)	kg	975
9.	Massa muatan sayuran	kg	600
10.	Tekanan awal gas (P_{30})	Pa	9×10^5
11.	Tekanan awal gas (P_{40})	Pa	9×10^5
12.	Tekanan atmosfir (P_{atm})	Pa	$1{,}03 \times 10^5$
13.	Volume awal gas (V_{30})	m^3	$6{,}36173 \times 10^{-4}$
14.	Volume awal gas (V_{40})	m^3	$6{,}36173 \times 10^{-4}$

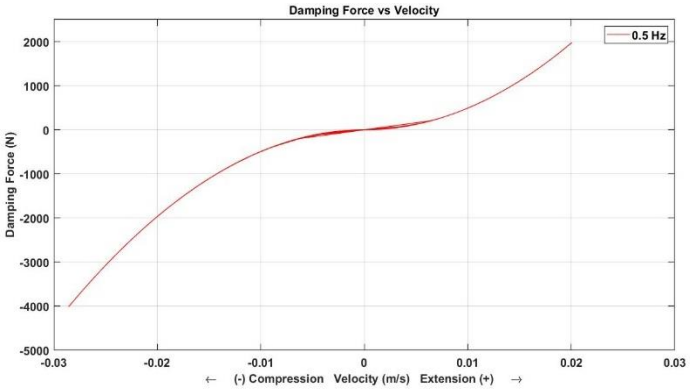
Untuk parameter yang digunakan pada sistem kontrol PID Ideal menggunakan metode *self-tuning* dengan K_p = 500, K_i = 100 dan K_d = 100 dengan *setpoint* = 0. Setelah penginputan data parameter pada matlab, selanjutnya dilakukan pembuatan blok diagram pada Simulink sesuai dengan persamaan yang digunakan. Untuk gambar blok diagram Simulink di tunjukkan pada gambar 12.



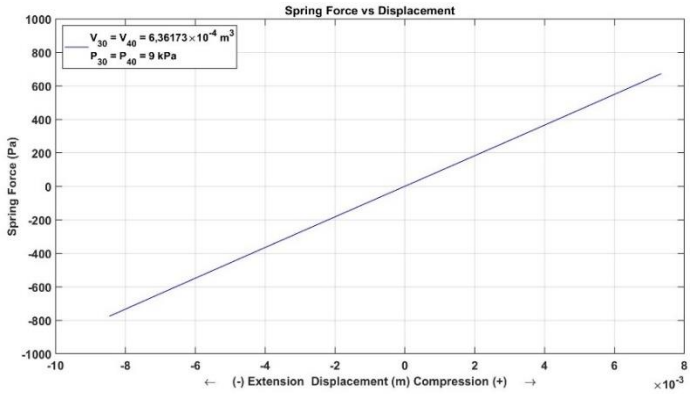
Gambar 12. Blok diagram Simulink system suspensi.

4. Hasil dan pembahasan

Dari hasil pemodelan sistem suspensi *hydraulicpneumatic* dengan sistem seperempat kendaraan pada bagian belakang Daihatsu Grandmax PU 1.3 STD menghasilkan gaya redam serta gaya pegas dan perpindahan dari kendaraan dengan input sinusoidal sebagai profil permukaan jalan. Adapun untuk respon dari gaya redam dan gaya pegas suspensi *hydraulicpneumatic* yang dihasilkan sebagai berikut.

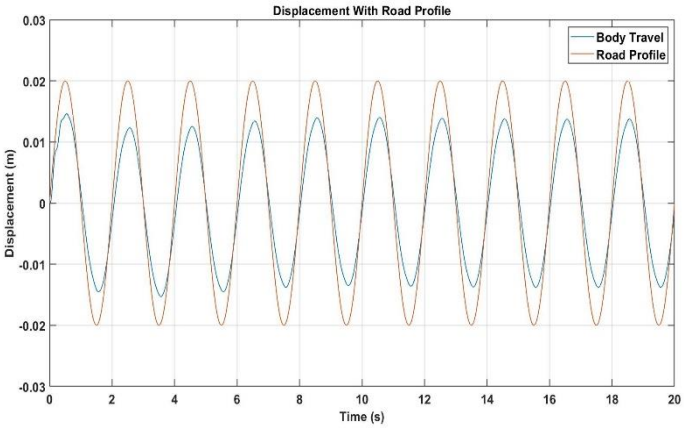


Gambar 13. Grafik gaya redam suspensi.



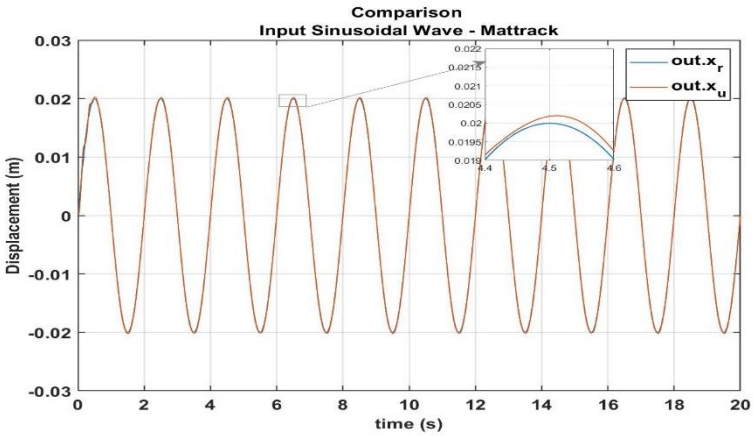
Gambar 14. Grafik gaya pegas suspensi.

Pada gambar 14 menghasilkan grafik gaya linier karena perpindahan *floating* piston kurang dari 0.1 m. Hasil pengujian dari respon perpindahan kendaraan dengan profil jalan menggunakan input sinus serta menggunakan PID *controller* Ideal, mendapatkan respon yang baik seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Grafik perpindahan kendaraan dengan profil jalan.

Dari hasil respon perpindahan kendaraan lebih kecil daripada profil jalan yang menyatakan respon yang baik, dengan suspensi *hydraulicpneumatic* serta penggunaan PID *controller* Ideal dapat mengurangi perpindahan kendaraan yang berlebih. Adapun untuk perpindahan dari *mattrack* dengan profil jalan ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik perpindahan *mattrack* dengan profil jalan.

Dari grafik pada gambar 16 menunjukkan respon perpindahan *mattrack* yang baik karena jika dibandingkan dengan profil jalan hampir sama, seperti yang penelitian yang dilakukan oleh Akanksha Tiwari yang menyatakan perpindahan roda harus seminimal mungkin untuk memastikan pegangan jalan yang lebih baik [32].

5. Kesimpulan

Desain suspensi *hydraulicpneumatic* dan *mattrack* dirancang dengan menyesuaikan dimensi ukuran dari kendaraan Daihatsu Grandmax PU 1.3 STD terutama pada bagian *chassis* kendaraan, ditambah beberapa bagian untuk mendukung proses *assembly* suspensi *hydraulicpneumatic* dengan kendaraan dibagian belakang. Dalam proses perancangan adanya perubahan dari tinggi minimum kendaraan dari tanah sebesar 368,54 mm yang disebabkan perancangan *mattrack* yang sudah dilakukan. Dengan menggunakan *mattrack* yang mendapatkan keuntungan dari latar belakang penggunaan transportasi untuk keperluan distribusi terutama bagi para petani di Indonesia yang sebagian besar lahan pertanian ataupun perkebunan yang terletak di pegunungan atau dataran tinggi yaitu dapat bermanufer atau tidak menyebabkan selip pada roda di kondisi kontur jalan yang cenderung tidak rata atau berlumpur.

Dari pengaruh yang dihasilkan oleh suspensi *hydraulicpneumatic* serta pengaruh dari kondisi jalan dengan besar amplitudo sebesar 0,02 m dengan frekuensi sebesar 0,5 Hz, berat kendaraan sebesar 1.575 kg dan menggunakan jenis PID *controller* ideal dengan besar parameter yang dihasilkan melalui *self-tuning* sebesar $K_p = 500$, $K_i = 100$ dan $K_d = 100$ dengan *set point* = 0, menghasilkan gerakan osilasi pada seperempat kendaaraan mencapai *steady state* dengan gerakan osilasi kendaraan lebih kecil jika dibandingkan dengan profil jalan, yang menyatakan suspensi *hydraulicpneumatic* dapat meredam getaran serta gerakan osilasi yang diakibatkan oleh *mattrack* dari kondisi jalan yang mengakibatkan proses distribusi dapat teratasi guna menghindari getaran yang berlebih dari profil jalan yang sulit untuk dilalui yang akan menyebabkan adanya kecelakaan dari kesatabilan kendaraan. Serta pada pengujian ini sistem seperempat kendaraan menggunakan *mattrack* yang menghasilkan gaya osilasi hampir sama dengan profil jalan yang menghasilkan pegangan jalan yang baik dengan input gelombang sinus.

6. References

[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] 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.

[6] 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

[7] 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.

[8] 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.

[9] J. a Razenberg, "Modelling of the hydro-pneumatic suspension system of a rally truck," no. September, 2009.

[10] 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.

[11] 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.

[12] F. R. Joo, "Dynamic analysis of a hydropneumatic suspension system." 1991.

[13] "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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] F. Sagˇlam and Y. S. U¨nlu¨soy, "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.

[17] 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.

[18] P. Awasthi and Y. M. Engineer, "Review paper on Ordinary suspension system and GINAF rally car Hydropneumatic suspension system".

[19] D. Inman, "DAMPING MODELS," *Encyclopedia of Vibration*, pp. 335–342, Jan. 2001, doi: 10.1006/RWVB.2001.0060.

[20] 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

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] Anirban. C. M. Trupti P. Phalke, "Design and Analysis of Vehicle Suspension System," *International Engineering Research*, pp. 162–172.

[25] 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.

[26] E. Budi, "Kajian Fisis pada Gerak Osilasi Harmonis," *Pengembangan Pendidikan Fisika*, vol. 1, no. 2, 2015, doi: 10.21009/1.

[27] 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.

[28] L. L. Myagkov, K. Mahkamov, 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. 370–392. doi: 10.1533/9780857097422.2.370.

[29] 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.

[30] 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.

[31] K. A. Wamura, "AN EVALUATION OF ROAD ROUGHNESS AND THE EFFECTS ON RIDING COMFORT AND VEHICLE DYNAMICS," vol. 137, no. 359, 1985.

[32] 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 (IJSDR) www.ijsdr.org*, vol. 3, 2018, [Online]. Available: www.ijsdr.org