



Desain dan Analisis Performansi Sistem Penggerak Purwarupa Kendaraan Hibrid Bertenaga Udara dan Listrik “*Bed 18*” menggunakan “*Scotch Yoke Mechanism*”

Bambang Setyono¹, Desmas Arifianto Patriawan², Efrita Arfah Zuliari³, Satria Mahdum Purbo Waseso⁴

^{1,2,4}Jurusan Teknik Mesin ITATS, ³Jurusan Teknik Elektro ITATS

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 23
Nomer 1, Mei 2019

Halaman:
1 – 8

Tanggal Terbit :
31 Mei 2019

DOI:
[10.31284/j.ipitek.2019.v23i1.321](https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2019.v23i1.321)

EMAIL

bambang@itats.ac.id¹

PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi
Adhi Tama Surabaya
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim
No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

Jurnal IPTEK by LPPM-ITATS is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRACT

Hybrid vehicle uses two types of technology or more as its energy source. The types of technology used in this research are compressed-air technology and electric motor. This research is focused on the compressed-air moving machine using scotch yoke mechanism. This research aims at designing the construction of scotch yoke as an air drive engine, analyzing the engine performance by varying air pressure and the amount of air energy consumption needs, as well as the effect of flywheel addition to the scotch yoke mechanism. The result of this study was the construction of scotch yoke mechanism consisting of 11 components with pneumatic cylinders as a liner drive and then converted to rotational motion by yoke and crank. The performance results were obtained through two tests, namely experimental testing with dyno-test test equipment and theoretical calculations test. The amount of one-time consumption of the compressed air drive system was 0.148 L and the vehicle can travel as far as 1,198 with 2 air tubes with capacity of 14 L.

Keywords: *Compressed-Air; Electric; Hybrid; Scotch Yoke.*

ABSTRAK

Kendaraan hibrida adalah kendaraan yang menggunakan dua jenis teknologi atau lebih sebagai sumber tenaganya. Teknologi yang digunakan pada penelitian ini yaitu teknologi udara bertekanan dan motor listrik. Penelitian ini berfokus pada mesin penggerak udara bertekanan dengan menggunakan *scotch yoke mechanism*. Tujuan penelitian ini untuk merancang konstruksi *scotch yoke* sebagai mesin penggerak udara, menganalisis performansi mesin dengan memvariasikan tekanan udara, dan jumlah kebutuhan konsumsi energi udara, serta pengaruh penambahan *flywheel* pada mekanisme *scotch yoke*. Hasil penelitian ini adalah konstruksi mekanisme *scotch yoke* terdiri dari 11 komponen dengan silinder pneumatik sebagai penggerak linier dan selanjutnya di konversikan ke gerak rotasi oleh *yoke* dan *crank*. Hasil performansi didapat melalui dua pengujian yaitu pengujian eksperimen dengan alat uji *dynotest* dan pengujian perhitungan teoritis. Jumlah konsumsi satu kali kerja sistem penggerak udara bertekanan sebanyak 0.148 L dan kendaraan dapat menempuh sejauh 1.198 dengan 2 tabung udara kapasitas 14 L.

Kata kunci: Udara bertekanan; listrik; Hybrid; Scotch Yoke.

PENDAHULUAN

Scotch yoke atau bisa disebut juga mekanisme penghubung berlubang (*slotted link*) adalah mekanisme gerak bolak balik dengan mengkonversikan gerak linier ke dalam gerak rotasi (gerak putar) maupun sebaliknya. Penggunaan sistem *scotch yoke* umumnya banyak digunakan pada aktuator katup kontrol pada pipa olie dan gas tekanan tinggi. Sistem ini juga telah digunakan pada variasi motor pembakaran dalam, seperti *Bourke Engine*, *SyTec Engine*, dan banyak digunakan

pada mesin udara tekanan tinggi serta *steam engine* (mesin uap) [1]. Pada penelitian ini penggerak udara bertekanan kendaraan "*hybrid BED 18*" menggunakan mekanisme *Scotch Yoke*. Kendaraan *hybrid* adalah kendaraan yang menggunakan dua jenis teknologi atau lebih sebagai sumber tenaganya. [2] Kendaraan "*hybrid BED 18*" menggunakan kombinasi *dual engine* yaitu motor listrik BLDC dan penggerak udara bertekanan silinder pneumatik. Seperti kita ketahui pengembangan kendaraan *hybrid* sudah semakin maju dan pesat, guna mencapai tujuan penggunaan kendaraan *zero pollution*.

TINJAUAN PUSTAKA

Perangkat Lunak Autodesk Inventor

Autodesk inventor merupakan sebuah progaam CAD dalam bidang teknik yang diaplikasikan untuk perancangan mekanik dalam bentuk 3D. Syaiful Alchazin (2012: 2) mengatakan bahwa Autodesk Inventor merupakan program yang dirancang khusus untuk keperluan bidang teknik seperti design produk, design mesin, design mold, design konstruksi, atau keperluan produk teknik lainnya. Program ini merupakan rangkaian dari program penyempurnaan dari Autocad dan Autodesk Mechanical Desktop [4]. Autodesk Inventor, yang dikembangkan oleh perusahaan perangkat lunak yang berbasis di AS Autodesk, hingga saat ini *Autodesk Inventor* bersaing langsung dengan *Solid Works* dan *Solid Edge*. [5] [6]

Scotch Yoke Mechanism

Scotch yoke atau bisa disebut juga mekanisme penghubung berlubang (*slotted link*) adalah mekanisme gerak bolak balik dengan mengkonversikan gerak linier ke dalam gerak rotasi (gerak putar) maupun sebaliknya. Dual aktuator di hubungkan langsung dengan *sliding yoke* dengan mengikutsertakan *pin* atau roller bearing yang berputar dan bergerak naik turun di lintasan *sliding yoke*. Untuk menghasilkan gerakan rotasi maka *sliding yoke* dipasangkang dengan engkol (*crank* atau *fly wheel*). Gerakan linier lengan aktuator terhadap waktu adalah amplitudo konstan serta pada kecepatan putar konstan akan menghasilkan frekuensi yang konstan pula [7]. Kontruksi mekanisme *scotch yoke* adalah batang besi. Panjang minimum yoke harus dua kali panjang diameter engkol (*crank*). *Crank* dan yoke di hubungkan dengan pin. Batang besi di las di kedua sisi yoke untuk mendapatkan gerak bolak balik. Kemudian crank di las pada bagian ujung poros yang mentransmisikan daya yang dihasilkan dari sistem penggerak *scotch yoke* untuk menggerakkan *sproket*.

Penggunaan sistem *scotch yoke* umumnya banyak digunakan pada aktuator katup kontrol pada pipa olie dan gas tekanan tinggi. Sistem ini juga telah digunakan pada variasi motor pembakaran dalam, seperti *Bourke Engine*, *SyTec Engine*, dan banyak digunakan pada mesin udara tekanan tinggi serta *steam engine* (mesin uap). Keuntungan dan kerugian sistem *scotch yoke* masih terus dilakukan penelitian, diantaranya yang telah di dapat yaitu [7] [8] lebih sedikit bagian yang bergerak, sistemnya tidak rumit, menghasilkan torsi besar, suara pengoperasiaanya halus. Pada mesin pembakaran dalam sistem ini persentasi menghabiskan waktu pada langkah *top*, *center*, *dead* lebih tinggi guna meningkatkan teori efisiensi mesin dari volume konstan pada siklus pembakaran. Terdapat aspek kerugian yaitu: pemakaian (*live time*) dari yoke lebih cepat karena pengaruh gesekan pin dengan yoke dan kontak tekanan yang tinggi, jika diterapkan pada mesin pembakaran dalam akan melepas kalor lebih besar.

Flywheel

Flywheel atau Roda Gila atau Roda Penyeimbang Gaya adalah salah satu elemen mesin yang berbentuk bulat dengan bobot massa yang besar, yang terhubung langsung dengan poros engkol dan biasanya terletak sebelum atau setelah alat penghubung untuk out-put. [10] *Flywheel* ini berfungsi sebagai penyeimbang gaya dan mengatur putaran mesin sehingga putaran mesin dapat berjalan dengan baik. Prinsip kerja dari *Flywheel* ini adalah menjaga putaran mesin agar tetap berjalan normal dan tidak kaku sehingga out-put yang dihasilkan bisa dikontrol. [10]

$$M = \text{massa jenis} \times \text{volume} \{ \text{kg/m}^3 \} \dots\dots\dots (1)$$

$$I = \Sigma \int r^2 dm \quad \{\text{kg/m}^2\} \dots\dots\dots (2)$$

$$E = \frac{1}{2} I (\omega_t^2 - \omega_0^2) \quad \{\text{Joule}\} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- M = Massa Flywheel
- I = Momen Inersia Flywheel
- E = Energi Kinetik yang Tersimpan Flywheel

Daya Penggerak

Secara umum daya diartikan sebagai suatu kemampuan yang dibutuhkan untuk melakukan sebuah kerja, yang dinyatakan dalam satuan Watt ataupun HP. Penentuan besar daya yang dibutuhkan perlu memperhatikan beberapa hal yang mempengaruhinya, diantaranya adalah:

1. Berat dan gaya yang bekerja pada mekanisme.
2. Kecepatan putar dan torsi yang terjadi.

Berikut adalah rumus untuk mencari harga daya, gaya, torsi, kecepatan putar dan berat yang terjadi pada mekanisme mesin:

- a) Daya berdasarkan torsi dan kecepatan sudut dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \tau x \omega \quad \dots\dots\dots (4)$$

- b) Untuk mencari kecepatan sudut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad \dots\dots\dots (5)$$

- c) Untuk mencari torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F \cdot r \quad \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- T : Torsi (N.m)
- Ω : Kecepatan sudut (rad/s)
- N : Kecepatan putar (Rpm)
- F : Gaya (Newton)

- d) Berdasarkan putaran poros, maka daya dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

- n = Putaran poros (rpm)
- T = Torsi (N.m)
- P = Daya (watt)

METODE

Terdapat beberapa tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini, meliputi kajian pustaka, perancangan, analisa hasil dan penarikan simpulan. Beberapa langkah dipaparkan sebagai berikut :

1. Kajian Pustaka
Kajian pustaka dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari referensi teks, jurnal, paper, serta literatur lain yang terkait dengan penelitian.
2. Perancangan Desain
Desain *scotch yoke* menggunakan software *Autodesk Inventor Pro 2016*
3. Input Data
Data disini dihasilkan melalui perhitungan dan label data dari beberapa komponen pelengkap sistem kerja penggerak *scotch yoke*.
4. Simulasi dan Analisis Desain
Pada tahap ini desain yang telah di rancang dengan memasukan data yang akurat diterapkan melalui simulasi dengan *software Autodesk Inventor Pro 2016*. Tujuan simulasi ini untuk uji

coba sistem penggerak, apakah dapat terintegrasi dengan sistem transmisi pada kendaraan *hybrid BED 18*.

5. Proses Fabrikasi
Setelah lolos tahap analisa pada simulasi maka *fabrikasi* atau pembuatan alat dapat dilakukan. Proses *fabrikasi* dilakukan dengan bantuan mesin – mesin perkakas manual.
6. Perakitan
Komponen penyusun mekanisme *scotch yoke* hasil fabrikasi dirakit
7. Uji Coba
Uji coba dilakukan secara manual di lapangan dan menggunakan alat uji
8. Pengambilan Data
Setelah melakukan uji coba, data di kumpulkan kemudian di analisis. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hasil kinerja alat melalui teoritis.
9. Analisis dan Kesimpulan
Proses analisis data melalui perhitungan teoritis dan secara pengujian.

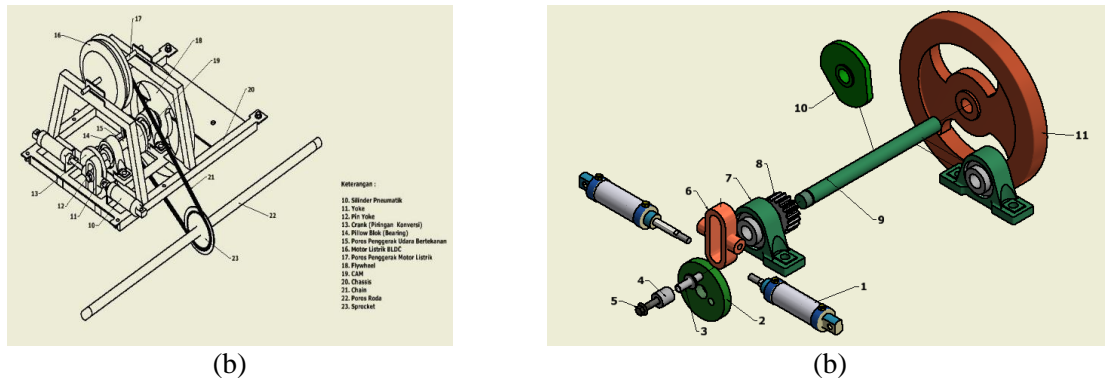
HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme *scotch yoke* harus mampu memenuhi kebutuhan daya minimum kendaraan “*hybrid BED 18*”. Daya minimum yang dibutuhkan kendaraan “*hybrid BED 18*” untuk dapat bergerak sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Gaya dorong kendaraan (Ft)} &= 124.05 \text{ N} \\ \text{Perhitungan torsi (T)} &= F_t \times R = 124.05 \text{ N} \times 0.235 \text{ m} = 29.15 \text{ N.m} = 21.5 \text{ lbf.ft} \\ \text{Perhitungan daya minimum (P)} &= \frac{T \times n}{5252} = \frac{21.5 \times 40.65}{5252} = 0.1 \text{ HP} \end{aligned}$$

Konstruksi Scotch Yoke Mechanism

Untuk memenuhi kebutuhan tenaga pada kendaraan “*hybrid BED 18*” dimana membutuhkan daya minimum sebesar 0.1 HP, maka diperlukan perancangan konstruksi sistem dengan rincian komponen penyusun sistem penggerak udara bertekanan menggunakan *scotch yoke mechanism* sebagai berikut :



Gambar 2. a) Sistem penggerak, b) *Scotch yoke mechanism*

Keterangan gambar 2b :

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| 1. Silinder pneumatik | 7. Pillow block |
| 2. Crank | 8. Sprocket |
| 3. Pin Yoke | 9. Poros transmisi |
| 4. Bossing (roller bearing) | 10. CAM |
| 5. Baut pengunci | 11. Flywheel |
| 6. Scotch Yoke | |

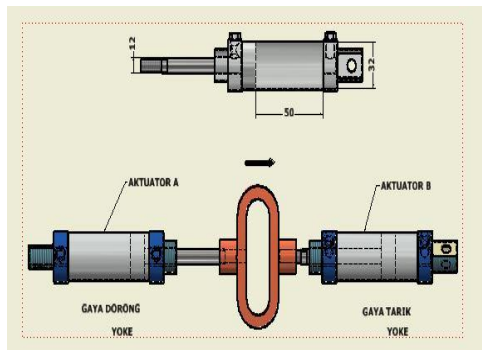
Uji Performansi

Uji performansi dilakukan dengan dua metode yaitu secara perhitungan teoritis dan dengan alat uji *dynotest*. Variasi tekanan sebagai parameter pengujian untuk mendapatkan besar daya, torsi, kecepatan.

Tekanan Tekanan Udara 87.022 Psi (6.10⁵ Psi)

a. Pengujian Perhitungan Teoritis

Rumus untuk silinder pneumatik kerja ganda:



Gambar 3. Langkah kerja silinder pneumatik

Langkah Maju :

$$F_1 = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} p = 0,0010 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 6 \times 10^5 = 471 \text{ N}$$

Langkah mundur:

$$F_2 = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} p = (0,0010 - 0,0001) \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 6 \times 10^5 = 405 \text{ N}$$

Total gaya yang diberikan :

$$F_s = F_1 + F_2 = 876 \text{ N}$$

Data yang di tentukan :

$$n_1 = 280 \text{ rpm} \quad (\text{putaran mesin})$$

$$\text{Torsi} = 20.805 \text{ N.m} = 15.345 \text{ lbf}$$

Perhitungan Losses Roda Belakang

Tahanan gelinding (rolling resistance)

$$F_r = 23.58 \text{ N}$$

Kecepatan roda belakang

Data yang di tentukan :

$$n_2 = 140 \text{ Rpm} \quad (\text{pengukuran dengan tachometer})$$

$$d = 0.47 \text{ m}$$

maka :

$$v_r = \frac{\pi \times d \times n}{60} = 3.44 \text{ m/s} = 12.4 \text{ km/jam}$$

Daya Friction

$$\text{FHP} = F \times v = 0.11 \text{ HP}$$

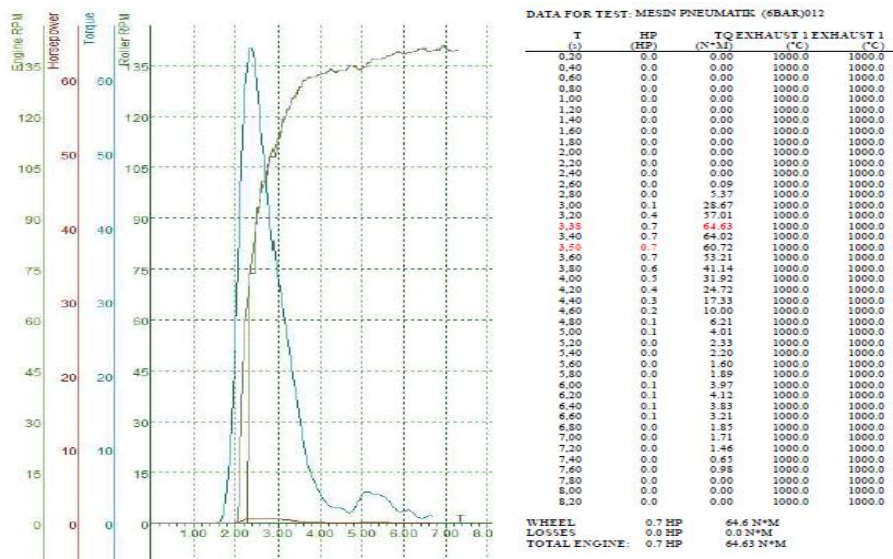
$$\text{Torsi (T}_r) = \frac{\text{HP} \times 5252}{n} = 5,7 \text{ Nm}$$

Perhitungan secara teoritis menunjukkan hasil performansi;

$$\text{Daya Efektif} = \text{Daya poros} - \text{Daya losses} = \text{IHP} - \text{FHP} = 0,8 - 0,1 = 0,7 \text{ HP}$$

$$\text{Torsi} = T_p + T_r = 20,85 \text{ Nm} + 5,3 \text{ Nm} = 26,24 \text{ N}$$

Pengujian Dengan Dynotest



Gambar 4. Grafik performansi alat uji dynotest

Berdasarkan pengujian dengan *dynotest* hasil performansi ditunjukan pada grafik diatas dengan rincian sebagai berikut daya 0,7 Hp ; Torsi 64,6 Nm ; kecepatan 10,3 Km/jam

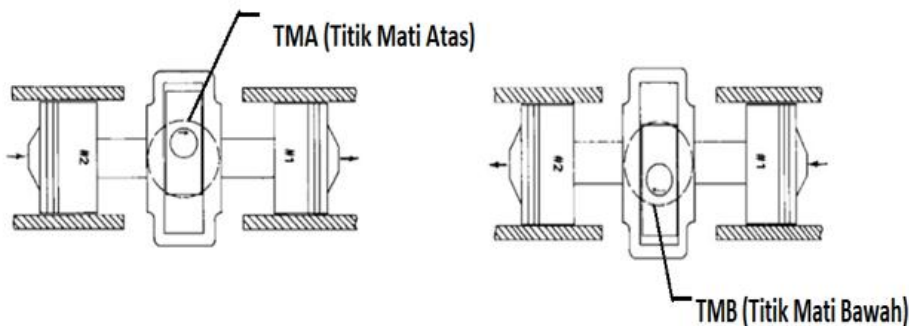
Tabel 1 . Hasil keseluruhan uji performansi

No	Parameter Uji	Tekanan Udara Oksigen					
		87,022 Psi (6x10 ⁵)Pa		116,032(8,1x10 ⁵)Pa		130,53 Psi(9,10x10 ⁵)Pa	
		Uji Dynotest	Perhitungan Teoritis	Uji Dynotest	Perhitungan Teoritis	Uji Dynotest	Perhitungan Teoritis
1	Daya (HP)	0,7	0,7	0,8	1,08	1,2	1,3
2	Torsi (Nm)	64,6	26,24	59,02	33,44	74,81	43,44
3	Kecepatan(km/jam)	10,3	12,4	12	14,18	13,1	15,48

Flywheel

Menurut hasil pengujian penambahan *flywheel* memberikan pengaruh yaitu diantaranya :

1. Mampu memposisikan pin yoke berada pada TMA (Titik Mati Atas) atau TMB (Titik Mati Bawah) ketika mekanisme penggerak *scotch yoke* akan berhenti bergerak dengan memanfaatkan kesetimbangan massa.



- Menyimpan energi kinetik yang terbang menggunakan metode KERS (*Kinetic Energy Recovery System*).

Volume = 1173144.098 mm³; massa = 9.18 kg; Inersia = 0.134 Kg.m²

Maka secara teoritis energi kinetik yang tersimpan setelah pengereman pada *flywheel* dengan kecepatan awal 15.5 km/jam atau 175 rpm (tekanan udara 130.02 Psi) dapat diketahui energi yang dihasilkan adalah 2 Joule.

Konsumsi Energi Udara Kendaraan “Hybrid BED 18”

Energi yang digunakan adalah udara bertekanan yang disimpan dalam 2 tabung berukuran 7 liter per tabungnya. Tekanan efektif yaitu 8 bar. Total jika dikeluarkan bertekanan 8 bar yaitu 241,2 Liter untuk dua tabung udara maka sekali putaran menghabiskan 0,148 liter, $241,2 / 0,148 = 1629$ kali putaran mekanik pneumatik. Jika diameter roda belakang 47 cm maka didapat kelilingnya yaitu 147 cm, jika perbandingan putaran dengan As mekanik pneumatik 1: 2 maka: $1629 / 2 = 815$ putaran roda = 119805 cm = 1,198 Km. Secara perhitungan kendaraan ini bisa menempuh dengan jarak 1,198 km. Pada pengujian jarak tempuh di jalan raya kendaraan hibrid ini dapat menempuh 1,1 Km dengan menggunakan udara bertekanan dengan kecepatan setabil 17 Km/h dan motor listrik dengan jangkauan 6 Km dengan kecepatan 25-30 Km/h.



Gambar 5. Uji jalan kendaraan “Hybrid BED 18”

KESIMPULAN

Performansi kendaraan “*hybrid BED 18*” yang dihasilkan melalui percobaan perhitungan teoritis dan alat uji *dynotest* adalah

Tekanan Udara 87,022 Psi (6×10^5 Pa) :

- Pengujian eksperimen dengan alat *dynotest* daya = 0.7 HP, torsi = 64,6 N.m, putran roda belakang = 142 rpm, dan kecepatan kendaraan = 10.3 Km/jam
- Pengujian perhitungan teoritis daya = 0,7 HP, torsi = 26,24 N.m, putran roda belakang = 140 rpm, dan kecepatan kendaraan = 12,4 Km/jam

Tekanan Udara 116,032 Psi (8×10^5 Pa) :

- Pengujian eksperimen dengan alat *dynotest* daya = 0.8 HP, torsi = 59,02 N.m, putran roda belakang = 161 rpm, dan kecepatan kendaraan = 12 Km/jam
- Pengujian perhitungan teoritis daya = 1.08 HP, torsi = 33,4 N.m, putran roda belakang = 160 rpm, dan kecepatan kendaraan = 14.18 Km/jam

Tekanan Udara 130,53 Psi (9×10^5 Pa)

- Pengujian eksperimen dengan alat *dynotest* daya = 1,2 HP, torsi = 74,81 N.m, putran roda belakang = 175 rpm, dan kecepatan kendaraan = 13,2 Km/jam
- Pengujian perhitungan teoritis daya = 1,3 HP, torsi = 43,44 N.m, putran roda belakang = 175 rpm, dan kecepatan kendaraan = 15,48 Km/jam.

Jumlah konsumsi udara diketahui dengan meninjau langka kerja silinder pneumatik terhadap poros roda pada tekanan efektif 116,032 Psi (8 bar). Satu kali kerja silinder pneumatik

yaitu dua kali langkah maju silinder dan dua kali langkah mundur silinder memutar poros mekanik penggerak dengan kebutuhan udara 0.148 L. Maka dengan 2 tabung udara tekanan 150 bar, volume 13.4 L, Kendaraan *Hybrdi "BED 18"* mampu menempuh jarak 1,198 Km pada kecepatan konstan 14,18 Km/jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima-kasih sebesar-besarnya kepada Kementerian Ristek Dikti atas pemberian kesempatan dan membiayai penelitian ini melalui PTUPT tahun anggaran 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amirullahizzan, 2012. Teori-Getaran. wordpress.com
- [2] Burhanuddin Muhammad, Harus Laksanana Guntur, Jurnal Teknik Pomit. Studi Eksperimen Pengaruh Perubahan Desain Flywheel Terhadap Waktu Pengosongan Energi Kinetik Model KERS. Vol 1. No 1 2013 di Indonesia, Jakarta.
- [3] Edoc.site, Jurnal, 2009. Scotch Yoke TheoryMechanism,
- [4] ITS-Undergraduate-14708-2103100068-Presentation2
- [5] Kamalnath., Kameshwaran.S, Jurnal, 2017 ,Design and Analysis of Dual Side Shaper Using Scotch Yoke Mechanism. Department of Mechanical Engineering, St. Joseph's College of Engineering, OMR, Chennai, India.
- [6] Oyon, Jurnal Mobil Listrik, 2014. Rancang Bangun Prototipe Mobil Listrik. ITATS, Surabaya, 2014.
- [7] Pengertian-autodesk-inventor, 20 Agustus 2013 <http://teknikmesin.org>,
- [8] R. Rizky Riharja Satria Karesa, Yuliman Purwanto, Wisnu Adi Prasetyanto, Jurnal, 2010. Rekayasa Pemanfaatan Energi Grafitasi pada Flywheel Untuk Memperpanjang Durasi Kerja UPS. Universitas DINUS, Semarang.
- [9] R.Robert Henty1, R.Ranjith Kumar, R.Raju, M.Sheik Mohamed Shabir, V.Tamilvanan, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Multi Purpose Scotchyoke Mechanism. Department of Mechanical Engineering, Dhanalakshmi Srinivasan College of Engineering, Perambalur, India1. Vol. 5, Special Issue 8, May 2016
- [10] Risa Achmad. Juni 2012. Kajian Mobil Hybrid dan Kebutuhannya di Indonesia
- [11] S.S Verma, Jurnal, 2008. Air Powered Vehicles, The Open Fules & Energy Science. (1-8)
- [12] Trajkovic Sasa, Jurnal, 2010. The Pneumatic Hybrid Vehicle, Lund University, 2010.