

**PENGARUH *COMPRESSION RATIO* TERHADAP PERFORMA  
MOTOR BAKAR 4 LANGKAH BERBAHAN BAKAR ETANOL**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADZAN RAMADHAN  
NIM. 135060200111047**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH *COMPRESSION RATIO* TERHADAP PERFORMA  
MOTOR BAKAR 4 LANGKAH BERBAHAN BAKAR ETANOL**

**JURNAL**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADZAN RAMADHAN**

**NIM. 135060200111047**

Jurnal ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 10 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001

Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.

NIP. 19831023 201504 2 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.

NIP. 19750802 199903 2 002





## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

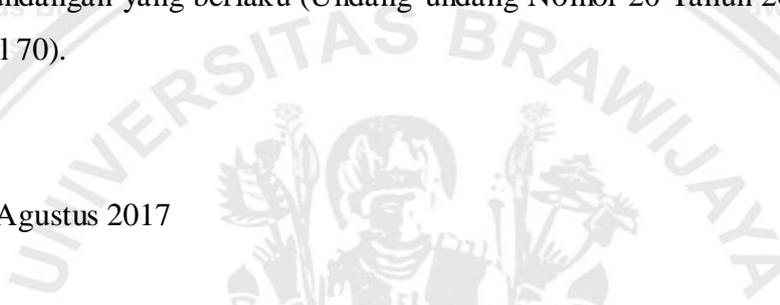
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat (2) dan Pasal 70).

Malang, 10 Agustus 2017

Mahasiswa,

Adzan Ramadhan

NIM. 135060200111047



**JUDUL SKRIPSI :**

**PENGARUH COMPRESSION RATIO TERHADAP PERFORMA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH BEEBAHAN BAKAR ETANOL**

**Nama Mahasiswa : Adzan Ramadhan**

**NIM : 135060200111047**

**Program Studi : Teknik Mesin**

**Konsentrasi : Teknik Konversi Energi**

**KOMISI PEMBIMBING :**

**Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT.**

**Dosen Pembimbing II : Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.**

**TIM DOSEN PENGUJI :**

**Dosen Penguji I : Prof.Dr.Ir. Rudy Sunoko, M.Eng.Sc.**

**Dosen Penguji II : Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan,ST.,MT.**

**Dosen Penguji III : Rudianto Raharjo, ST.,MT**

**Tanggal Ujian : 25 Juli 2017**

**SK Penguji : 903/UN10.6/SK/2017**

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan

GASOLINE													
Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/detik)		v udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/PSjam)	ηe (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.7	5.70	0.123	0.121	2.8	2.815	0.329	1.150	0.392	0.341	17.637	4119.24	3.22932
	5.7		0.119		2.83								
3000	5.93	5.93	0.132	0.132	3.18	3.19	0.343	1.435	0.428	0.298	20.184	4493.72	3.35963
	5.93		0.132		3.2								
3500	6.72	6.77	0.164	0.165	3.5	3.525	0.391	1.911	0.535	0.280	21.506	5617.15	3.83553
	6.82		0.166		3.55								
4000	6.7	6.73	0.189	0.189	4.2	4.265	0.389	2.172	0.612	0.282	21.331	6434.19	3.81287
	6.76		0.189		4.33								
4500	6.67	6.67	0.236	0.234	4.34	4.35	0.385	2.421	0.758	0.313	19.210	7966.14	3.77887
	6.67		0.232		4.36								
5000	6.35	6.33	0.280	0.280	4.72	4.66	0.366	2.553	0.907	0.355	16.928	9532.13	3.58625
	6.31		0.280		4.6								
5500	6.1	6.1	0.297	0.294	5.32	5.22	0.352	2.706	0.953	0.352	17.090	10008.74	3.45594
	6.1		0.291		5.12								
6000	5.7	5.7	0.311	0.311	5.89	5.905	0.329	2.759	1.008	0.365	16.469	10587.48	3.22932
	5.7		0.311		5.92								
6500	5.6	5.5	0.329	0.326	6.43	6.375	0.318	2.884	1.056	0.366	16.423	11098.12	3.11601
	5.4		0.323		6.32								
7000	5.23	5.23	0.338	0.336	6.97	6.925	0.302	2.953	1.089	0.369	16.318	11438.56	2.96305
	5.23		0.334		6.88								

VARIASI KOMPRESI 9.3 E96															
Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		v udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/PSjam)	ηe (%)	Qb	Data sebelum	T (Nm)	
2500	5.435	5.433	9.721	0.257	2.42	2.475	0.314	1.096	0.729	0.665	14.766	4689.68	0.25667	0.015	3.08
	5.432		9.917		2.53										
3000	5.735	5.733	11.098	0.290	2.96	2.915	0.331	1.387	0.824	0.594	16.548	5298.73	0.29000	0.017	3.25
	5.732		11.885		2.87										
3500	5.967	5.967	12.475	0.317	3.36	3.295	0.345	1.685	0.899	0.534	18.402	5785.97	0.31667	0.019	3.38
	5.967		12.671		3.23										
4000	6.169	6.167	14.049	0.390	3.76	3.825	0.356	1.990	1.108	0.557	17.649	7125.88	0.39000	0.023	3.49
	6.165		13.655		3.89										
4500	6.267	6.267	14.835	0.430	4.16	4.095	0.362	2.275	1.221	0.537	18.300	7856.74	0.43000	0.026	3.55
	6.267		15.032		4.03										
5000	5.92	5.9	16.212	0.440	4.66	4.655	0.341	2.380	1.250	0.525	18.708	8039.46	0.44000	0.026	3.34
	5.88		16.803		4.65										
5500	5.767	5.767	19.360	0.492	5.32	5.22	0.333	2.559	1.397	0.546	18.001	8983.49	0.49167	0.030	3.27
	5.767		18.967		5.12										
6000	5.535	5.533	19.950	0.583	5.24	5.335	0.320	2.678	1.657	0.619	15.880	10658.37	0.58333	0.035	3.13
	5.531		19.557		5.43										
6500	5.2	5.1	20.540	0.582	5.67	5.82	0.295	2.674	1.652	0.618	15.902	10627.92	0.58167	0.035	2.89
	4.9		20.934		5.97										
7000	4.9	4.9	23.294	0.663	6.32	6.435	0.283	2.767	1.884	0.681	14.428	12120.09	0.66333	0.040	2.78
	4.9		22.704		6.55										



VARIASI KOMPRESI 9.3 E99

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.37	5.36	9.131	0.255	2.43	2.6	0.310	1.081	0.724	0.670	14.663	4659.23	3.03670
	5.35		9.327		2.77								
3000	5.55	5.53	11.098	0.261	2.95	3.07	0.319	1.338	0.741	0.554	17.736	4768.86	3.13301
	5.51		10.508		3.19								
3500	5.66	5.66	12.081	0.302	3.33	3.49	0.327	1.598	0.858	0.537	18.303	5517.99	3.20666
	5.66		12.475		3.65								
4000	6.16	6.16	13.065	0.350	3.87	3.755	0.356	1.988	0.994	0.500	19.644	6395.02	3.48994
	6.16		13.262		3.64								
4500	5.57	5.56	14.245	0.352	4.02	4.115	0.321	2.018	1.000	0.495	19.833	6431.57	3.15001
	5.57		14.049		4.21								
5000	5.63	5.63	15.622	0.426	4.56	4.495	0.325	2.271	1.210	0.533	18.438	7783.66	3.18966
	5.63		15.229		4.43								
5500	5.27	5.26	17.393	0.435	4.96	5.03	0.304	2.334	1.236	0.529	18.557	7948.10	2.98004
	5.25		17.983		5.1								
6000	5.1	5.1	18.376	0.492	5.46	5.505	0.295	2.468	1.397	0.566	17.354	8989.58	2.88939
	5.1		18.770		5.55								
6500	4.88	4.86	19.557	0.554	5.89	5.925	0.281	2.548	1.574	0.617	15.911	10122.41	2.75342
	4.84		20.934		5.96								
7000	4.63	4.63	21.327	0.589	6.38	6.305	0.268	2.615	1.673	0.640	15.354	10761.91	2.62312
	4.63		21.721		6.23								

VARIASI KOMPRESI 10,6 E96

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.3	5.45	0.200	0.198	2.54	2.605	0.315	1.099	0.562	0.512	19.201	3617.76	3.08769
	5.6		0.196		2.67								
3000	5.6	5.675	0.206	0.212	3.11	3.045	0.328	1.373	0.601	0.437	22.461	3864.42	3.21516
	5.75		0.217		2.98								
3500	5.9	6	0.256	0.250	3.76	3.71	0.347	1.694	0.709	0.418	23.486	4558.74	3.39929
	6.1		0.243		3.66								
4000	6.2	6.25	0.285	0.309	4.11	3.98	0.361	2.017	0.878	0.435	22.575	5645.89	3.54092
	6.3		0.333		3.85								
4500	6.3	6.35	0.312	0.331	4.08	4.1	0.367	2.305	0.940	0.408	24.089	6047.87	3.59758
	6.4		0.350		4.12								
5000	6.3	6.1	0.384	0.384	4.32	4.38	0.352	2.460	1.091	0.443	22.163	7016.26	3.45594
	5.9		0.384		4.44								
5500	5.9	5.8	0.420	0.429	4.87	4.95	0.335	2.573	1.219	0.474	20.749	7838.47	3.28598
	5.7		0.438		5.03								
6000	5.4	5.475	0.456	0.453	5.45	5.44	0.316	2.650	1.287	0.486	20.234	8276.99	3.10185
	5.55		0.450		5.43								
6500	5.3	5.2	0.486	0.492	5.89	5.97	0.300	2.727	1.397	0.513	19.169	8989.58	2.94605
	5.1		0.498		6.05								
7000	4.8	4.875	0.526	0.516	6.34	6.285	0.282	2.753	1.464	0.532	18.471	9418.96	2.76192
	4.95		0.505		6.23								



VARIASI KOMPRESI 10.6 E99

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.5	5.4	0.208	0.210	2.56	2.66	0.312	1.089	0.596	0.548	17.938	3837.01	3.05936
	5.3		0.212		2.76								
3000	6.1	6	0.232	0.239	2.96	3.06	0.347	1.452	0.679	0.468	21.015	4366.89	3.39929
	5.9		0.246		3.16								
3500	6.4	6.25	0.256	0.260	3.36	3.46	0.361	1.765	0.737	0.418	23.521	4741.45	3.54092
	6.1		0.263		3.56								
4000	6.4	6.425	0.357	0.361	3.76	3.86	0.371	2.073	1.024	0.494	19.892	6586.87	3.64007
	6.45		0.364		3.96								
4500	6.3	6.35	0.389	0.389	4.16	4.26	0.367	2.305	1.103	0.479	20.523	7098.48	3.59758
	6.4		0.388		4.36								
5000	6.1	6.075	0.445	0.452	4.56	4.66	0.351	2.450	1.282	0.523	18.772	8249.58	3.44178
	6.05		0.458		4.76								
5500	5.8	5.8	0.468	0.473	4.96	5.06	0.335	2.573	1.344	0.522	18.818	8642.42	3.28598
	5.8		0.478		5.16								
6000	5.35	5.375	0.510	0.508	5.36	5.46	0.311	2.602	1.442	0.554	17.732	9272.79	3.04519
	5.4		0.505		5.56								
6500	5.2	5.25	0.555	0.566	6.02	5.99	0.303	2.753	1.606	0.583	16.838	10332.53	2.97438
	5.3		0.576		5.96								
7000	4.95	5.025	0.586	0.587	6.47	6.555	0.290	2.838	1.667	0.588	16.721	10725.37	2.84690
	5.1		0.588		6.64								

VARIASI KOMPRESI 11.5 E96

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.7	5.6	0.174	0.179	2.47	2.58	0.324	1.129	0.507	0.449	21.885	3261.46	3.17267
	5.5		0.183		2.69								
3000	5.9	5.825	0.185	0.188	2.91	3.02	0.337	1.410	0.534	0.379	25.937	3435.04	3.30014
	5.75		0.191		3.13								
3500	6.2	6.3	0.238	0.237	3.35	3.46	0.364	1.779	0.673	0.378	25.961	4330.34	3.56925
	6.4		0.236		3.57								
4000	6.6	6.45	0.277	0.279	3.79	3.9	0.373	2.081	0.792	0.381	25.803	5097.75	3.65423
	6.3		0.281		4.01								
4500	6.6	6.55	0.344	0.346	4.23	4.34	0.378	2.378	0.983	0.413	23.770	6321.94	3.71089
	6.5		0.348		4.45								
5000	6.3	6.25	0.371	0.374	4.67	4.78	0.361	2.521	1.061	0.421	23.346	6824.40	3.54092
	6.2		0.376		4.89								
5500	5.9	5.875	0.420	0.418	5.11	5.22	0.339	2.607	1.186	0.455	21.596	7628.35	3.32847
	5.85		0.415		5.33								
6000	5.5	5.55	0.440	0.445	5.55	5.66	0.321	2.686	1.264	0.471	20.880	8130.82	3.14434
	5.6		0.450		5.77								
6500	5.3	5.275	0.488	0.492	5.99	6.1	0.305	2.766	1.397	0.505	19.446	8989.58	2.98854
	5.25		0.496		6.21								
7000	4.8	4.975	0.531	0.528	6.43	6.54	0.287	2.809	1.500	0.534	18.404	9647.35	2.81858
	5.15		0.525		6.65								



VARIASI KOMPRESI 11,5 E99

Putaran	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC	SFCe	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)	
2500	5.6	5.65	0.196	0.190	2.52	2.67	0.326	1.139	0.538	0.472	20.799	3462.45	3.20100
	5.7		0.183		2.82								
3000	5.9	5.9	0.201	0.198	3.02	3.06	0.341	1.428	0.562	0.394	24.944	3617.76	3.34263
	5.9		0.195		3.1								
3500	6.4	6.4	0.203	0.212	3.6	3.58	0.370	1.807	0.602	0.333	29.483	3873.56	3.62591
	6.4		0.221		3.56								
4000	6.6	6.6	0.283	0.278	4.1	4.17	0.381	2.130	0.790	0.371	26.498	5079.48	3.73922
	6.6		0.273		4.24								
4500	6.6	6.475	0.351	0.355	4.34	4.35	0.374	2.351	1.007	0.428	22.935	6477.25	3.66840
	6.35		0.358		4.36								
5000	6.2	6.2	0.434	0.428	4.76	4.87	0.358	2.501	1.214	0.486	20.234	7811.07	3.51260
	6.2		0.421		4.98								
5500	6.1	5.975	0.475	0.469	5.32	5.22	0.345	2.651	1.332	0.503	19.552	8569.33	3.38512
	5.85		0.463		5.12								
6000	5.35	5.5	0.510	0.504	5.89	5.905	0.318	2.662	1.432	0.538	18.270	9208.83	3.11601
	5.65		0.498		5.92								
6500	5.4	5.35	0.526	0.524	6.43	6.375	0.309	2.805	1.487	0.530	18.535	9565.13	3.03103
	5.3		0.521		6.32								
7000	5.1	5.125	0.555	0.544	6.97	6.925	0.296	2.894	1.544	0.533	18.418	9930.56	2.90356
	5.15		0.532		6.88								



**Lampiran 2 .Perhitungan Rasio Kompresi**

Diketahui :

*Bore x Stroke* Supra x 125 = 52,4 mm x 57,9 mm

Rasio Kompresi = 9,3 : 1

$$\begin{aligned} \text{Volume Cylinder} &= \frac{3,14 \times \text{Bore}^2 \times \text{Stroke}}{4} \\ &= \frac{3,14 \times 52,4 \times 52,4 \times 57,9}{4} \\ &= 124,8 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dicari:

1. Vs1?

$$RK1 = \frac{Vt1 + Vs1}{Vs1}$$

Keterangan : Vs1 = Volum sisa variasi 1

$$9,3 = \frac{124,8 + Vs1}{Vs1}$$

Vt1 = Volum total variasi 1

$$8,3 Vs1 = 124,8$$

RK1 = Rasio kompresi variasi 1

$$Vs1 = 15,03 \text{ mm}^3$$

2. Variasi kedua?

Keterangan : 1. Setelah dilakukan pengukuran, volume *head cylinder* sebesar 10,5 mm<sup>3</sup>

2. Vs2 setelah dikurangi ketebalan gasket memiliki nilai sebesar 13 mm<sup>3</sup>

$$RK2 = \frac{Vt2 + Vs2}{Vs2}$$

$$= \frac{124,8 + 13}{13}$$

$$= 10,6$$

3. Variasi Ketiga?

Keterangan : Vs3 setelah memiliki nilai sebesar 11,8

$$RK3 = \frac{Vt3 + Vs3}{Vs3}$$

$$= \frac{124,8 + 11,8}{11,8}$$

$$= 11,5$$

Sehingga variasi 1,2, dan 3 memiliki nilai rasio kompresi sebesar 9,3;1, 10,6;1, dan 11,5 :1



## Abstrak

**Adzan Ramadhan**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2017, Pengaruh *Compression Ratio* Terhadap Performa Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Etanol. Dosen Pembimbing: Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT. dan Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng

Pada saat ini, energi menjadi permasalahan hampir di seluruh dunia. Meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor sebagai pemicu *global warming* menyebabkan semua perusahaan otomotif di dunia berlomba-lomba untuk membuat produk yang hemat bahan bakar, ramah lingkungan dan menggunakan energi alternatif. Salah satu bahan bakar yang dapat dijadikan alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil seperti *gasoline* adalah etanol. Pembakaran etanol lebih bersih dari pada bahan bakar fosil sehingga dapat mengurangi efek rumah kaca. Mesin yang digunakan pada penelitian ini ada mesin *otto* 4 langkah 1 silinder bersistem injeksi yang memiliki volume silinder 124,8 cc. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa variasi rasio kompresi yaitu 9,3:1, 10,6:1, dan 11,5:1 dengan menggunakan metode penelitian ekperimental yang divariasikan dengan putaran mesin sebesar 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000 rpm. Nilai torsi maksimal sebesar 3.739Nm pada 4000 rpm dengan penggunaan etanol 99%, Daya efektif maksimal sebesar 2,894 PS pada 7000 rpm dengan etanol 99%, nilai SFCE terendah 0.333 kg/Ps.jam pada 3500 rpm dengan etanol 99%, dan nilai efisiensi termal efektif maksimal sebesar 29.434% pada 3500 rpm dengan etanol 99% dan semua itu didapat pada variasi rasio kompresi 11,5:1. Nilai torsi, daya, dan SFCE yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar etanol secara umum sedikit lebih buruk jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *gasoline*, namun nilai efisiensi termal yang dapat dicapai dengan menggunakan bahan bakar etanol dengan kadar 99% pada rasio kompresi yang optimal lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan *gasoline*.

**Kata Kunci:** Etanol 96%, Etanol 99%, Motor Bakar 4 Langkah Injeksi, Dinamometer, Torsi, Daya efektif, SFCE, Efisiensi Termal Efektif

## Abstract

**Adzan Ramadhan**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, *The Effect of Compression Ratio on the Performance of Gasoline Engine with Ethanol Fuel*, Academic Supervisor :Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT. and Nafisah Arina Hidayati, ST., M. Eng.

Nowadays, energy become issues for almost region in the world. Increased volume of motor vehicles that makes global warming cause every automotive company persistent to make efficient, eco-friendly, and use alternative energy products. One of fuels that can use for alternative energy and replace the fossil fuels is ethanol. Ethanol combustion cleaner than fossil fuels that means less greenhouse effect. In this research using a otto engine 4 stroke single cylinder with injection system that has 124.8cc of volumes. In this research use some compression ratio variation that is 9,3:1, 10,6:1, and 11,5:1 with experimental methods of research and has combination variation with crankshaft rotation include, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000 rpm. maximum torque rated of 3.739 Nm @ 4000 rpm, the effective power is maximal at 2,894 PS @ 7000 rpm, the value of SFCE Lowest 0.333 kg/PS-h @ 3500 rpm and the value of thermal efficiency 29.434% @ 3500 rpm which is entirely based on variations compression ratio 11,5:1 and use ethanol 99%. The value of the torque, power generated and SFCE when using ethanol fuel is generally lower when compared to using gasoline fuel, but thermal efficiency can be achieved in the use of ethanol 99% fuel is better when compared to using gasoline especially on optimal compression ratio.

**Keywords:** Ethanol 96%, Ethanol 99%, Combustion Engine 4 Stroke Injection, Dynamometer, Torque, Effective power, SFCE, Thermal Efficiency.

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Siklus Ideal <i>Otto</i> .....	8
Gambar 2.2	Siklus Aktual <i>Otto</i> .....	9
Gambar 2.3	Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah .....	10
Gambar 2.4	Ilustrasi Terjadinya Proses Pembakaran .....	11
Gambar 2.5	Destilasi Bertingkat Minyak Bumi .....	12
Gambar 2.6	Sistem Injeksi Tidak Langsung .....	15
Gambar 2.7	Ilustrasi Menghitung Kompresi Rasio .....	16
Gambar 3.1	Skema Alat .....	22
Gambar 3.2	Mesin <i>Otto</i> 4 Langkah .....	24
Gambar 3.3	DInamometer .....	24
Gambar 3.4	Anemometer Digital .....	25
Gambar 3.5	ECU <i>Programmable</i> Juken 3 BRT .....	26
Gambar 3.6	<i>Remote Programmer</i> I-max 3 .....	26
Gambar 3.7	Buret 10 ml .....	27
Gambar 3.8	<i>Cylinder Block</i> .....	27
Gambar 4.1	Hubungan antara torsi terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 96% .....	37
Gambar 4.2	Hubungan antara torsi terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 99% .....	37
Gambar 4.3	Hubungan antara daya efektif terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 96% .....	39
Gambar 4.4	Hubungan antara daya efektif terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 99% .....	39
Gambar 4.5	Hubungan antara SFCE terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 96% .....	41
Gambar 4.6	Hubungan antara SFCE terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 99% .....	42
Gambar 4.7	Hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 96% .....	44

Gambar 4.8 Hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada berbagai variasi rasio kompresi dengan etanol 99% ..... 44



**DAFTAR ISI**

**KATA PENGANTAR** ..... i

**DAFTAR ISI** ..... i

**DAFTAR TABEL** ..... v

**DAFTAR GAMBAR** ..... vi

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... viii

**RINGKASAN** ..... ix

**SUMMARY** ..... x

**BAB I PENDAHULUAN** ..... 1

    1.1 Latar Belakang ..... 2

    1.2 Rumusan Masalah ..... 2

    1.3 Batasan Masalah ..... 2

    1.4 Tujuan Penelitian ..... 3

    1.5 Manfaat Penelitian ..... 3

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... 5

    2.1 Penelitian Sebelumnya ..... 5

    2.2 Mesin *Otto* 4 Langkah ..... 7

        2.2.1 Siklus Termodinamika Mesin *Otto* 4 Langkah ..... 7

        2.2.2 Siklus *Otto* ..... 8

        2.2.3 Prinsip Kerja Mesin *Otto* 4 Langkah ..... 9

        2.2.4 Teori Pembakaran Pada Mesin *Otto* ..... 10

    2.3 Bahan Bakar Mesin *Otto* 4 Langkah ..... 11

        2.3.1 Etanol ..... 12

    2.4 Sistem Injeksi Bahan Bakar ..... 14

    2.5 Pengertian Rasio Kompresi ..... 15

    2.6 Meningkatkan Rasio Kompresi ..... 16

    2.7 Karakteristik Mesin *Otto* 4 Langkah ..... 17

        2.7.1 Torsi ..... 17

        2.7.2 Daya Efektif ..... 18

        2.7.3 Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ ) ..... 18

        2.7.4 *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe) ..... 19

    2.8 Gaya Pengereman ..... 19



2.9	Hipotesis .....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>21</b>
3.1	Metode Penelitian .....	21
3.2	Variabel Penelitian .....	22
3.3	Skema Instalasi Penelitian .....	22
3.4	Alat-alat Pengujian .....	23
3.5	Metode Pengambilan Data .....	28
3.6	Diagram Alir Penelitan .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>31</b>
4.1	Analisa Data .....	31
4.1.1	Data Hasil Pengujian.....	31
4.1.2	Pengolahan Data.....	32
4.1.3	Hasil Pengolahan Data .....	35
4.2	Pembahasan Grafik.....	36
4.2.1	Grafik hubungan Antara Torsi Terhadap Putaran .....	37
4.2.2	Grafik hubungan Antara Daya Efektif terhadap Putaran.....	39
4.2.3	Grafik hubungan antara <i>SFCe</i> terhadap Putaran .....	41
4.2.4	Grafik hubungan antara Efisiensi Termal efektif terhadap putaran .....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>47</b>
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR PUSTAKA

- Agrariska, Fintas A dan Nugroho, Wahyunanto A. 2013. *Uji Performansi Motor Bakar Bensin (On Chassis) Menggunakan Campuran Premium dan Etanol*. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya: Malang.
- Amit K. and Ajay K, 2016. *Progress in Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine*. Institute of Technology : Uttarakhand, India
- Anugra, Kiagus Roby.2014. *Kajian tentang Perbandingan Premium-Ethanol dengan Pertamina pada Motor 4 Langkah 225 cc*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Yogyakarta.
- Arismunandar, Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Bonnick, A. 2011. *A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance* Butterworth-Heinemann: Amsterdam.
- Çengel Y. A and Boles M. A, 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed*, McGraw-Hill.
- Faiz, Asif and Weaver C. S. 1996. *Air Pollution from Motor Vehicles Standards and Technologies for Controlling Emissions*. The World Bank: Washington.
- Fatimah, Siti Soja, 1994. *Industri Minyak Bumi*. Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia : Bandung.
- Ginting F. 2014. *Pengaruh Campuran Gasoline-Ethanol (Gasohol) Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah Sistem Injeksi..* Teknik Mesin Universitas Brawijaya: Malang.
- Handayani, Sri Utami, 2009. *Pemanfaatan Bio Ethanol sebagai Bahan Bakar Pengganti Bensin*. Diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro: Semarang.
- Kurniawan, A. 2014. *Analisa Penggunaan Bahan Bakar Bioetanol dari Batang Padi sebagai Campuran pada Bensin*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Kustoro.2012. *Sistem kontrol elektronik Pada Honda Supra X 125 PGM-FI. Tugas Akhir*. Tidak Dipublikasikan. Teknik Mesin D III. Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Muhtadi M. *Pengaruh Berbagai Macam Campuran antara Ethanol Absolute dan Premium Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Vario*. Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya: Surabaya
- Nababan, Hotland M, Himsar A dan Tulus B. 2013. *Studi Kinerja Mesin Otto menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Etanol 96%*, Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara: Medan.

- Pulkrabek, Williard W. 1997. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall: New Jersey.
- Soenarta, Nakoela dan Shoichi Furuhamu. 2002. *Motor Serba Guna*. Paradnya Paramita: Jakarta.
- Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*: PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press, Malang.
- Winarno, Joko. 2011. *Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin*. Teknik Mesin Universitas Jamabadra: Yogyakarta.
- Xiaochen W and Zhenbin C, 2015. *The Effects o Hydrous Ethanol Gasoline on Combustion and Emission Characteristics of A Port Injection Gasoline Engine*. School of Automobile : Shanghai, China.
- Yusri I.M, Najafi G and Mamat R, 2016. *Alcohol Based Automotive Fuel from First Four Alcohol Family in Compression and Spark Ignition Engine: A Riview on Engine Performance and Exhaust Emissions*. School of Manufacturing Engineering : Kangar, Malaysia.



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Karakteristik Berbagai Bahan Bakar Mesin Pembakaran Dalam .....	13
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar .....	31
Tabel 4.2	Data Gaya Pengereman Setiap Variasi Rasio kompresi dan Putaran .....	32
Tabel 4.3	Data Torsi pada Setiap Variasi Rasio kompresi dan Putaran .....	33
Tabel 4.4	Hasil Pengolahan Data Daya Efektif .....	35
Tabel 4.5	Hasil Pengolahan Data Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif .....	35
Tabel 4.6	Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif .....	36



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah terlibat dalam proses penyelesaian skripsi ini, Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dana Anggrianto dan Retno Mindarwati selaku orangtua penulis atas doa dan dukungannya yang selalu menyertai keberhasilan penulis, semoga senantiasa dalam pelukan dan lindungan Allah SWT
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. dan Ibu Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi atas semua ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi ST., M. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
5. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin.
6. Ibu Francisca Gayuh, U.D, ST., MT. selaku KKDK Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
7. Bapak Ir. Suharto MT. selaku Dosen Wali penulis
8. Seluruh dosen pengajar dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.
9. Yosi Tri Kurniawati selaku teman spesial yang selalu mensupport selama penulisan dan penyusunan skripsi ini.
10. Keluarga besar M13 yang selalu menjadi bagian selama di kampus khususnya Chairman dan Rival selaku teman kelompok skripsi
11. Teman-teman bengkel TGK (Galih, Reno, Burhan, Rega, Joko, Chairman, Iga dan Rival).
12. Teman-teman Kost 269 (Yanuar, Reza, Aridh, Isal).
13. Teman satu daerah, satu perjuangan sejak maba sampai sekarang Bimo Ario P
14. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut

Malang, 14 Juli 2017

Penulis





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, energi menjadi permasalahan hampir di seluruh dunia. Meningkatnya penggunaan kendaraan sebagai pemicu *global warming* menyebabkan semua perusahaan otomotif di dunia berlomba-lomba untuk membuat produk yang hemat bahan bakar, ramah lingkungan dan menggunakan energi alternatif. Energi alternatif adalah istilah yang merujuk kepada energi yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar konvensional tanpa akibat yang tidak diharapkan. Salah satu bahan bakar alternatif yang marak digunakan ialah etanol. Bahan bakar etanol adalah etil alkohol dengan jenis yang sama dengan yang ditemukan pada minuman beralkohol dengan penggunaan sebagai bahan bakar. Etanol seringkali dijadikan bahan tambahan bensin sehingga menjadi *biofuel*. Etanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar ialah etanol 99% dan etanol 96% (Ginting F, 2014). Sebagian besar penggunaan energi alternatif etanol semuanya menggunakan prinsip motor bakar karena etanol ditemukan dan diteliti untuk menggantikan bahan bakar minyak yang telah ada (Nababan H, 2013).

Motor bakar adalah mesin kalor atau mesin konversi energi yang mengubah energi kimia menjadi energi mekanik berupa kerja (rotasi). Secara umum mesin kalor dibagi menjadi dua yaitu, *external combustion engine* dan *internal combustion engine*. Mayoritas kendaraan modern menggunakan prinsip motor bakar dalam dengan piston seperti *gasoline engine* dan *diesel engine*. Pada mesin kendaraan ringan atau kecil digunakan *gasoline engine*, dikarenakan lebih efisien. Tuntutan peningkatan performa motor bakar, bahan bakar yang efisien dan ramah lingkungan menyebabkan munculnya bahan bakar yang semakin bervariasi. Etanol menjadi salah satu energi alternatif yang dapat memenuhi kriteria tersebut (Marlina E, 2015).

Nababan, dkk. (2013) membandingkan kinerja atau performa mesin sepeda motor menggunakan *gasoline* (RON 88) dengan etanol 96% (RON 117). Dari penelitian ini diperoleh, bahan bakar bensin lebih efisien dengan efisiensi termalnya mencapai 36,60%

serta memiliki kadar gas buang karbon monoksida (CO) lebih tinggi dibandingkan bahan bakar ethanol 96%. Kurniawan (2014) melakukan penelitian pada sepeda motor berbahan bakar bioetanol sebagai campuran premium dengan variasi putaran mesin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biopremium dengan campuran bioetanol lebih baik dari pada bensin dari segi kerja mesin, konsumsi bahan bakar dan efisiensi thermal yang dihasilkan. Dari berbagai penelitian yang telah ada, pengujian performa motor bakar masih menggunakan sistem konvensional dengan karburator tanpa melakukan modifikasi pada mesin. Oleh karena itu dengan pemakaian etanol sebagai bahan bakar diperlukan pengaturan variabel rasio kompresi untuk memaksimalkan kinerja mesin. Hal ini disebabkan karena karakteristik bahan bakar etanol yang memiliki rentan nilai oktan yang lebih tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh *compression ratio* terhadap performa mesin otto 4 langkah injeksi menggunakan bahan bakar etanol 96% terhadap kinerja yang dihasilkan. Di Indonesia penggunaan dan pengembangannya memang belum cukup banyak dan masih bersifat konvensional. Serta ubahan apa saja yang cocok untuk menghasilkan kinerja maksimal. Salah satu aspek yang diperhatikan ialah seberapa besar kenaikan rasio kompresi yang diperlukan dengan cara yang relatif mudah seperti mengurangi gasket dan mengganti piston. Perubahan ini dibutuhkan karena perbedaan karakteristik bahan bakar yang digunakan. Sehingga dengan beberapa hal yang telah dinyatakan diatas etanol dapat menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang sangat menguntungkan kedepannya terutama untuk penggunaan kendaraan bermotor.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari penjabaran dan penjelasan pada latar belakang sebelumnya, di rumuskan sebuah permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh dari perubahan *compression ratio* mesin otto 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol terhadap kinerja meliputi tosi, daya efektif, SFCe, dan efisiensi termal efektif yang dihasilkan.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang harus ditentukan agar peneliti dapat melakukan penelitian secara lebih terarah, seperti :

1. Pada saat pengujian kondisi motor sedang diam atau tidak berjalan.
2. Kelembaban udara dan temperatur ruangan diabaikan.

3. Putaran output ditransmisikan oleh *gearbox* dan gesekan *gearbox* diabaikan.
4. Kinerja yang diteliti diantaranya torsi, *specific fuel consumption effective*, daya efektif dan efisiensi thermal efektif.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Dalam tujuan penelitian ini, pembahasan yang ingin diketahui adalah seberapa baik kinerja yang dihasilkan ketika terjadi perubahan *compression ratio* pada mesin otto 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah :

1. Dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil secara signifikan.
2. Memberikan solusi bagi dunia transportasi mengenai bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.
3. Dapat mencari *compression ratio* terbaik mesin motor bakar otto dengan bahan bakar etanol.
4. Menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya agar perkembangan teknologi dibidang otomotif akan tetap terus maju dengan menggunakan bahan bakar alternatif terutama etanol.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Nababan, dkk. ( 2013 ) Membandingkan kinerja atau biasa disebut juga performa mesin sepeda motor menggunakan *gasoline* dengan RON 88 dicampur etanol 96 % dengan RON 117 diuji menggunakan mesin otto empat langkah 1 silinder berkapasitas 109,1 cc yang terhubung dengan hirdolik dynamometer sebagai alat pengukur. Dengan variasi bahan bakar bensin dicampur dengan etanol 96 % untuk kondisi beban dan kecepatan yang sama maka bahan bakar bensin dengan RON 88 lebih efisien dimana efisiensi termalnya mencapai 36,60 %. Namun uji emisi gas buang menggunakan bahan bakar bensin dengan RON 88 memiliki kadar gas buang karbon monoksida (CO) lebih tinggi dibandingkan bahan bakar etanol 96% dengan RON 117, sedangkan untuk kadar gas buang karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>) pengujian menggunakan etanol 96 % dengan RON 117 lebih tinggi dibandingkan dengan bensin dengan RON 88.

Anugra ( 2014 ) Melakukan kajian tentang perbandingan premium-etanol dengan pertamax (RON 92) pada motor 4 langkah 1 silinder berkapasitas 225 cc. Pengkajian dilakukan dengan cara melakukan pencampuran etanol dengan premium (RON 88) sejumlah 5%, 10%, 15% lalu dibandingkan kinerjanya yang meliputi nilai Torsi (N.m) dan Daya (kW), Emisi Gas Buang (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, λ), dan nilai Konsumsi Bahan Bakarnya (*mf* dan SFC) dengan pertamax (RON 92). Pertamax yang memiliki nilai oktan 92 dengan stabilitas oksidasi yang tinggi dan kandungan *olefin*, *aromatic* dan *benzene* pada level yang rendah ini menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna pada mesin. Etanol yang memiliki angka oktan lebih tinggi dari pada bensin yaitu *research octane number* 108. Lalu pada nilai torsi dan daya Pada campuran bahan bakar pertamax murni, premium murni, premium – etanol 5%, premium – etanol 10%, dan premium – etanol 15% di dapat torsi (N.m) tertinggi pada bahan bakar pertamax murni pada putaran mesin 7825 (rpm) dengan nilai 16,57 (N.m) dan pada daya (kW) tertinggi terdapat pada bahan bakar pertamax murni dengan nilai 15,06 (kW). Pada pengujian emisi gas buang nilai emisi gas buang terendah ada pada bahan bakar pertamax murni. Pada pengujian konsumsi bahan bakar (KBB) yangterendah menggunakan bahan bakar Premium – Etanol 15% dengan nilai 0,596 kg/jam pada putaran 5000 (rpm). Pada pengujian SFC nilai terendah terdapat pada

bahan bakar campuran premium – etanol 10% dengan nilai 0,068 kg/kW pada putaran mesin 7000 (rpm).

Kurniawan (2014) melakukan penelitian mengenai bioetanol, uji performa mesin otto dengan variasi konsentrasi bahan bakar bensin dengan etanol dengan variasi 100% bensin, 75% bensin + 25% etanol, 50% bensin + 50% etanol, 25% Bensin + 75% etanol dan 100% etanol. Dengan variasi pembebanan yaitu dengan menggunakan beban 500, 1000, 1500, 2000, 2500 watt. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan bahan bakar bioetanol memiliki kandungan etanol sebesar 95% (RON >110) dan hasil uji performa dari mesin otto dengan menggunakan variasi konsentrasi bahan bakar dan variasi pembebanan menunjukkan bahwa Daya, Rpm, Torsi dan SFOC dari penggunaan variasi bahan bakar dan pembebanan menunjukkan bahwa semua parameter tersebut mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar bensin.

Muhtadi (2013) melakukan penelitian pada sepeda motor vario 2011, berbahan bakar bioetanol sebagai campuran premium, menggunakan putaran mesin 300 sampai dengan 9000 rpm dengan skala interval 500 rpm untuk mengetahui kinerja torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan efisiensi thermal. Penelitian menggunakan metode pengujian rpm berubah pada beban penuh dengan berpedoman pada standart ISO 1585. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biopremium (E5,E10,E15 dan E20) dengan campuran bioetanol dari limbah kulit jerami angka lebih baik dari pada pertamax dari segi kerja mesin, konsumsi bahan bakar dan efisiensi thermal yang dihasilkan. Torsi maksimum didapat di E15 (15% bioetanol dan 85% premium) sebesar 2,24 kgf.m dan peningkatannya sebesar 3,70 % pada 2000 rpm. Peningkatan daya maksimum didapat di E15 (15% bioetanol dan 85% premium) sebesar 7.10 PS pada 500 rpm dan peningkatannya sebesar 11,57 % pada 6500 rpm. Penurunan konsumsi bahan bakar optimum sebesar 41,837 % pada 5000 rpm didapatkan bahan bakar E15. Penggunaan biopremium dengan campuran bioetanol dari jerami angka yang terbaik adalah E15 daripada menggunakan E5, E10, E 20 dan pertamax.

## 2.2 Mesin Otto 4 Langkah

Motor *otto* merupakan suatu mesin berjenis pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang berfungsi untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dengan proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar menjadi energi mekanik yakni dalam bentuk putaran poros. Energi panas yang didapat dari pembakaran atau oksidasi udara dengan bahan bakar yang terjadi di ruang bakar (*Combustion Chamber*) tersebut dapat terjadi dengan bantuan percikan api yang berasal dari busi untuk

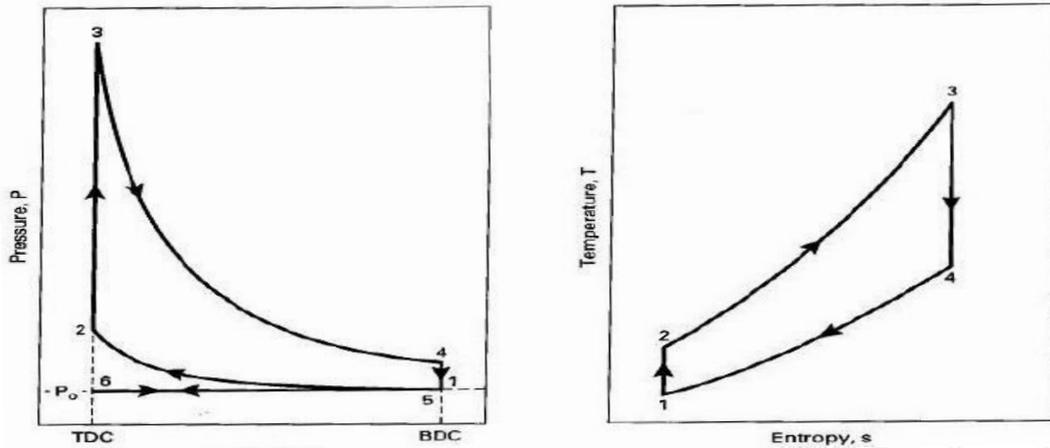
menghasilkan gas pembakaran (Arismunandar,1998). Gas pembakaran yang bertekanan tinggi akan berekspansi melawan mekanisme gerak mekanik mesin. Untuk menghasilkan putaran poros yang merupakan output dari gerakan ekspansi torak yang diubah dengan mekanisme *link* menjadi putaran *crankshaft*. *Crankshaft* selanjutnya dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis yang selanjutnya energi ini dimanfaatkan sesuai dengan keperluan yang dibutuhkan.

### 2.2.1 Siklus Termodinamika Mesin *Otto* 4 Langkah

Siklus termodinamika merupakan beberapa proses termodinamika yang memperlihatkan transfer panas dan kerja dalam berbagai keadaan kondisi (tekanan, temperature, dan keadaan lainnya). Pada siklus termodinamika ini ketika sistem mengalami rangkaian yang berbeda dan pada akhirnya kembali ke proses keadaan semula (reversible) dan pada system ini , suatu system dapat melakukan usaha terhadap keadaan atau lingkungan sekitarnya, sehingga dapat disebut juga mesin kalor. Siklus aktual dari proses kerja motor bakar sangat kompleks untuk digambarkan, oleh sebab itu pada umumnya siklus motor bakar dilakukan pendekatan dalam bentuk siklus udara standar (*air standar cycle*). Dalam *air standar cycle* fluida kerja menggunakan udara, dan pembakaran bahan bakar diganti dengan pemberian panas dari luar menggunakan pemantik. Pendinginan dilakukan untuk mengembalikan fluida kerja pada kondisi semula. Semua proses yang membentuk siklus udara standar dalam motor bakar adalah proses ideal, yaitu proses *reversibel internal*.

### 2.2.2 Siklus *Otto*

Siklus udara standar pada motor bensin disebut Siklus *Otto*, diambil dan diabadikan dari nama penemunya, yaitu Nikolaus August *Otto*. Ditemukan pada tahun 1876 Siklus ini juga disebut dengan siklus volume konstan. Penambahan panas yang diterima terjadi secara konstan ketika posisi piston berada pada titik mati atas (TMA). Dalam diagram P – V dan diagram T – s pada gambar dibawah ini menggambarkan siklus udara volume konstan.



Gambar 2.1 Siklus Ideal Otto  
Sumber: Pulkrabek (1997 : 75)

Langkah dari Siklus Otto terdiri dari :

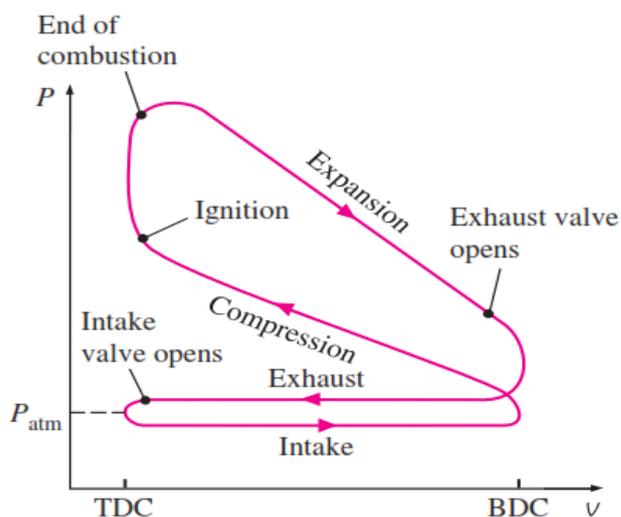
1. Proses 6-1 adalah langkah hisap yang terjadi pada tekanan konstan (*Isobaric*) dan temperatur konstan (*Isotermic*).
2. Proses 1-2 adalah langkah kompresi pada keadaan entropi konstan (*Isentropic*).
3. Proses 2-3 adalah proses pemasukan kalor pada volume konstan (*Isokhorik*).
4. Proses 3-4 adalah langkah ekspansi pada keadaan entropi konstan (*Isentropic*).
5. Proses 4-5 adalah proses pembuangan panas pada volume konstan (*Isokhorik*).
6. Proses 5-6 adalah proses pembuangan sisa kalor (langkah buang ) pada tekanan konstan (*Isobaric*) dan temperatur konstan (*Isotermic*).

Arismunandar W. (1988) menyatakan dalam kenyataannya baik siklus volume konstan, siklus tekanan konstan dan siklus gabungan tidak mungkin terjadi, karena adanya beberapa faktor sebagai berikut :

- a. Fluida kerja bukanlah udara yang bisa dianggap sebagai gas ideal, karena fluida kerja disini adalah campuran bahan bakar (premium) dan udara, sehingga tentu saja sifatnya pun berbeda dengan sifat gas ideal.
- b. Baik katup masuk maupun katup buang tidak dibuka dan ditutup tepat pada saat piston berada pada posisi TMA dan atau TMB, karena pertimbangan dinamika mekanisme katup.
- c. Adanya kerugian energi akibat adanya gesekan antara fluida kerja dengan dinding silinder dan mesin.
- d. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitarnya.

- e. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada saat torak di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperature fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar dalam silinder.
- f. Terdapat kerugian akibat perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, misalnya oli, terutama saat proses kompresi, ekspansi dan dan waktu gas buang meninggalkan silinder.

Siklus otto aktual dapat dilihat pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Siklus Aktual Otto  
Sumber : Cengel (2006 : 494)

### 2.2.3 Prinsip Kerja Mesin Otto 4 Langkah

Dalam proses mesin otto 4 langkah, pada 1 siklus kerja melakukan 4 langkah pada piston atau 2 kali putaran poros engkol, yang lebih lengkapnya dijelaskan dibawah ini :

#### a. Langkah Hisap (*Suction Stroke*)

Piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah).

Posisi katup hisap terbuka dan katup buang tertutup. Akibat gerakan piston volume didalam silinder membesar sehingga tekanan turun. Turunnya tekanan di dalam silinder menyebabkan adanya perbedaan tekanan diluar silinder dengan didalam silinder sehingga campuran bahan bakar terhisap masuk ke dalam silinder.

#### b. Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

Piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah).

Posisi katup hisap terbuka dan katup buang tertutup. Akibat gerakan piston volume

didalam silinder membesar sehingga tekanan turun. Turunnya tekanan di dalam silinder menyebabkan adanya perbedaan tekanan diluar silinder dengan didalam silinder sehingga campuran bahan bakar terhisap masuk ke dalam silinder.

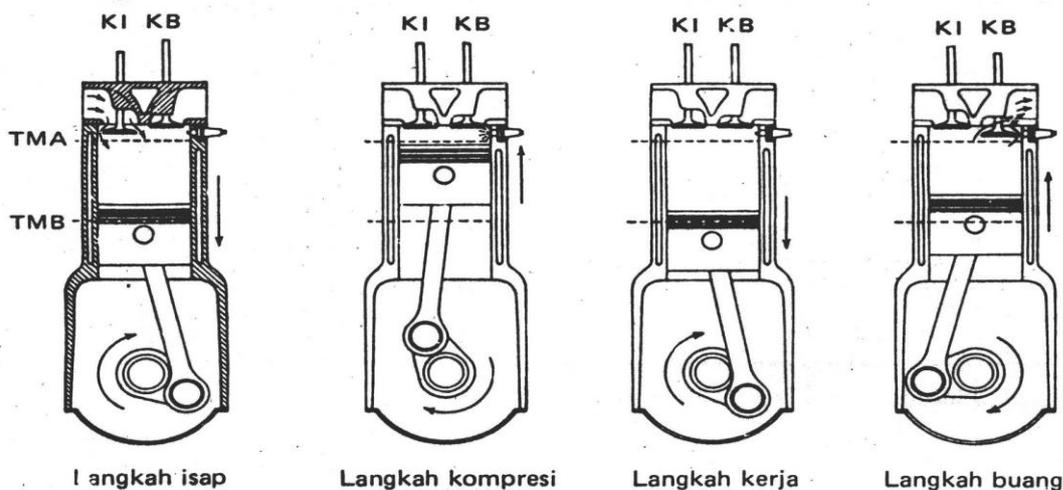
c. Langkah Ekspansi (*Expansion Stroke*)

Beberapa saat sebelum TMA, busi memercikkan api sehingga membakar campuran bahan bakar. Terbakarnya campuran bahan bakar menyebabkan temperatur dan tekanan didalam silinder naik. Tekanan mendorong piston dari TMA menuju TMB, melalui batang piston gaya tekan piston digunakan untuk memutar poros engkol, pada poros engkol digunakan untuk memutar beban.

d. Langkah Buang (*Exhaust Stroke*)

Piston bergerak dari TMB menuju TMA. Posisi katup hisap tertutup dan katup buang terbuka. Gerakan piston menyebabkan piston mendorong gas buang ke luar menuju knalpot melalui katup buang.

Skema dari langkah gerakan torak di dalam silinder motor bakar 4 langkah dapat ditunjukkan dalam gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah

Sumber : Arismunandar (2002 : 8)

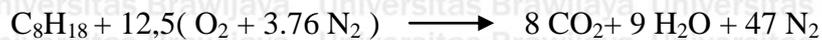
### 2.2.4 Teori Pembakaran Pada Mesin Otto

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen lalu membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008).

Syarat-syarat terjadinya pembakaran ada 3, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Pengoksidasi (adanya oksigen atau udara)
3. Energi aktivasi (energi yang harus dilampaui agar reaksi kimia terjadi)

Proses pembakaran teoritis bahan bakar bensin (isooktan) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Sedangkan untuk proses pembakaran secara teoritis bahan bakar etanol dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Pada gambar 2.4 dapat dilihat, jika salah satu unsur tersebut tidak tersedia ataupun ke 3 unsur memiliki komposisi yang tidak tepat maka pembakaran tidak akan terjadi.

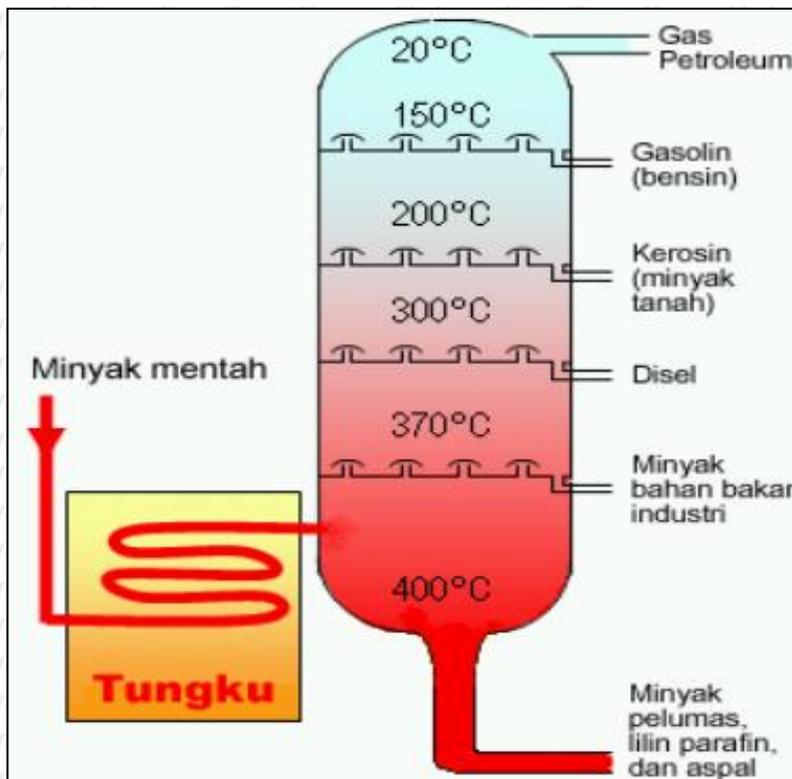


Gambar 2.4 Ilustrasi Terjadinya Proses Pembakaran  
Sumber : Wardana (2008 : 1)

### 2.3 Bahan Bakar Mesin Otto 4 Langkah

Bahan bakar merupakan suatu zat yang akan diubah menjadi energi panas pada proses pembakaran yang disebut juga dengan reaksi eksotermal. Terdapat 2 jenis bahan bakar yang dapat digunakan pada mesin otto 4 Langkah yaitu bahan bakar cair dan gas. Pada motor bensin umumnya menggunakan bahan bakar yang cair. Kandungan utama dalam bahan bakar adalah karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan kandungan lainnya adalah nitrogen (N), Sulphur (S), oksigen (O<sub>2</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan air (H<sub>2</sub>O) (Wardana, 2008). Bahan bakar mesin otto sumber terbesarnya di dihasilkan dari proses destilasi minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui, dampaknya cadangan minyak bumi semakin hari semakin menipis berbanding lurus dengan tuntutan kebutuhan energi dunia yang semakin

meningkat. Pada gambar 2.5 dapat dilihat bensin (*gasoline*) yang merupakan salah satu bahan bakar motor bakar di dapatkan dari proses destilasi bertingkat dari minyak bumi yang dirubah menjadi berbagai jenis bahan bakar seperti kerosin, bensin, minyak, solar, dll.



Gambar 2.5 Destilasi Bertingkat Minyak Bumi  
Sumber : Fatimah (1994)

### 2.3.1 Etanol

*Etanol* yang disebut juga etil-alkohol dalam kehidupan sehari-hari mempunyai rumus kimia  $C_2H_5OH$ . *Etanol* diperoleh dari peragian gula atau tepung. Jadi sumber bahan bakar *etanol* dari tanaman sangat berlimpah seperti lontar, enau, kelapa, tebu, cassava dan lain sebagainya. *Etanol* juga bisa diperoleh dari limbah pertanian yang sangat berlimbah jumlahnya (Wardana.2008:36)

*Etanol* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dari lahan pertanian seperti gandum, jagung, tebu melalui proses biokimia. Selain itu *etanol* memiliki kandungan oksigen sebesar 34% dari beratnya senyawanya (shahrir,2014) dan jika dicampur dengan bahan bakar *gasoline* dalam silinder akan mengurangi emisi seperti *carbon monoxide* (CO) dan *hydrat carbon* (HC) (Iodice,2013). Hal ini disebabkan karena pembakaran bahan bakar yang mengandung

*etanol* mengarah kepada pembakaran miskin (*lean combustion*) dimana udara yang tersedia lebih banyak daripada udara yang dibutuhkan.

*Etanol* banyak digunakan dalam laboratorium dan dalam bidang rekayasa untuk membuat berbagai senyawa organik dan digunakan sebagai bahan bakar. Etanol termasuk bahan bakar yang mudah terbakar dengan nyala api warna biru. Berat molekul *etanol* adalah 46,07 dengan nilai pembakaran atas (HHV) 30,610 kJ/kg dan titik nyala 170<sup>0</sup>F (76,67<sup>0</sup>C) (Wardana.2008:37). Seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.1 penjelasan karakteristik etanol yang dibandingkan dengan bahan bakar lain.

Beberapa keuntungan penggunaan *etanol* sebagai bahan bakar bermotor adalah:

- Mampu bercampur dengan pelarut organik seperti air, eter dan gliserol.
- Emisi gas buangnya lebih rendah.
- Kerapatan energinya lebih tinggi dari *metanol*.

Sedangkan kerugian kerugiannya adalah :

- Kerapatan energinya lebih rendah dibandingkan bensin dan solar
- Bersifat korosif (Wardana.2008:37)

Tabel 2.1

Kareteristik berbagai bahan bakar mesin pembakaran dalam

<i>Property</i>	<i>Gasoline</i>	<i>Diesel</i>	<i>Metanol</i>	<i>Etanol</i>	<i>Propane (LPG)</i>	<i>Methane (CNG)</i>
<i>H/C ratio</i>	1.9	1.88	4.0	3.0	2.7	40
<i>Energy Content (LHV) (Mj/kg)</i>	44.0	42.5	20.0	26.9	46.4	50.0
<i>Liquid Density (kg/l)</i>	0.72-0.78	0.84-0.88	0.792	0.785	0.51	0.422
<i>Liquid Density (Mj/kg)</i>	33.0	36.55	15.84	21.12	23.66	21.13
<i>Boilling Point (°C)</i>	37-205	140-360	65	79	-42.14	-161.6
<i>Research Octane Number</i>	92-98	-25	106	107	112	120
<i>Motor Octane Number</i>	80-90	-	92	89	97	120
<i>Stoichiometric air-fuel ratio</i>	14.7	14.6	6.5	9.0	15.7	17.2
<i>Reid Vapor Pressure (psi)</i>	8-15	0.2	4.6	2.3	208	2400

Sumber : Faiz (1996 : 195)

Berbagai jenis mesin pembakaran dalam seperti mesin *otto* dan *diesel* dapat menggunakan *etanol*. Semakin meningkatnya harga minyak dan pencemaran emisi racun

ke lingkungan menyebabkan meningkatnya konversi etanol yang dilakukan diberbagai negara. Karena memiliki emisi racun yang lebih rendah dari bahan bakar cair lainnya.

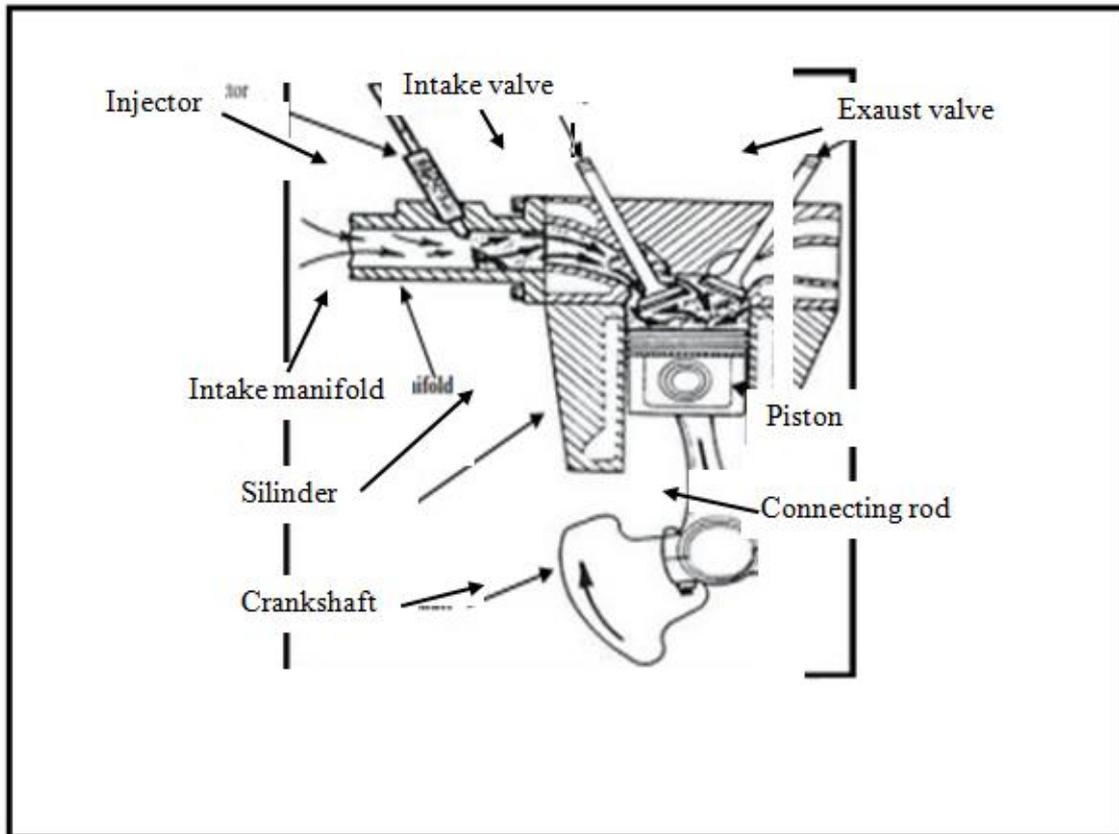
*Etanol* keunggulan lain yang dimiliki diantaranya :

- Penggunaan *etanol* dapat mengurangi efek rumah kaca pada atmosfer.
- Tingkat keamanan yang lebih jika dibandingkan bahan bakar lainnya karena temperatur nyala apinya lebih tinggi disbanding dengan bensin.
- Merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui dengan sumber yang sangat melimpah di Indonesia.

## 2.4 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Injeksi bahan bakar adalah suatu teknologi yang digunakan pada mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) untuk menyuplai bahan bakar dalam proses pencampuran bahan bakar dengan udara sebelum dibakar. Cara kerjanya adalah dengan menentukan jumlah campuran bahan bakar dan udara se-ideal mungkin untuk dimasukkan ke dalam ruang bakar melalui saluran masuk yang jumlahnya diukur oleh sensor aliran udara (*air flow sensor*) yang kemudian diproses oleh ECM (*Electronic Control Module*) sehingga dapat ditentukan jumlah bahan bakar yang dapat disemprotkan oleh injektor yang harus masuk ke dalam silinder mesin. Idealnya untuk setiap 14,7 gram udara masuk diinjeksikan 1 gram bensin dan disesuaikan dengan kondisi panas mesin dan udara sekitar serta beban kendaraan. Bahan bakar bertekanan (2-4 kali tekanan dalam sistem karburator) telah dinaikan tekanannya oleh pompa bahan bakar elektrik dalam sistem dan siap diinjeksikan melalui *injector* elektronik. (Kustoro, 2012)

Ada 2 jenis pemasukan bahan bakar secara injeksi yang digunakan dalam kendaraan bermotor, yaitu injeksi langsung ke ruang bakar (*Direct Injection*) dan Injeksi tidak langsung ke ruang bakar (*Indirect Injection*) seperti pada gambar 2.6. Penggunaan jenis injeksi bahan bakar dapat dilihat berdasarkan posisi pemasukan bahan bakarnya, pada bahan bakar bensin yang digunakan adalah tipe injeksi tidak langsung.



Gambar 2.6 Sistem Injeksi Tidak Langsung

Sumber : Kustoro (2012 : 8)

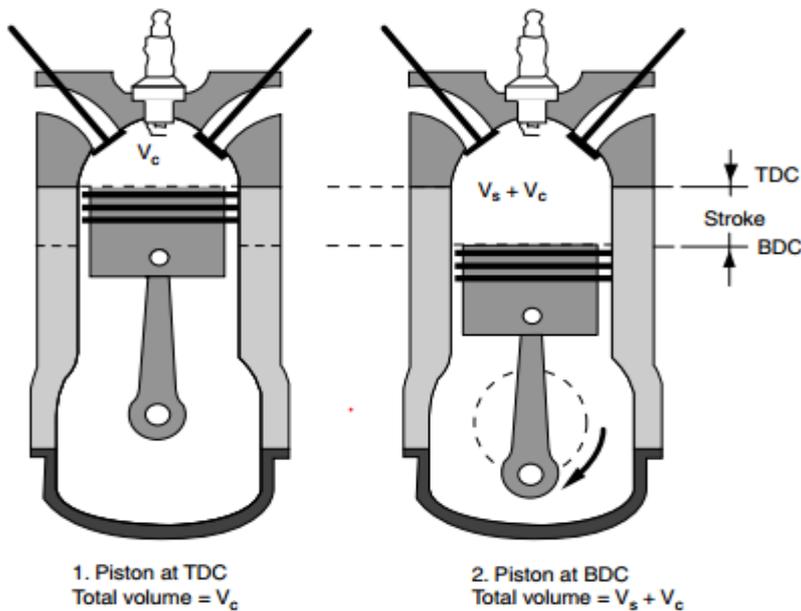
## 2.5 Pengertian Rasio Kompresi

Rasio kompresi pada mesin pembakaran dalam atau mesin pembakaran luar adalah nilai yang mewakili rasio volume ruang pembakaran dari kapasitas terbesar ke kapasitas terkecil. Rasio kompresi mengacu pada volume atau jumlah bahan bakar dan udara yang dapat ditampung oleh silinder mesin pada saat kosong (ukuran terbesar dari ruang silinder ketika piston pada posisi TMB) dibandingkan dengan volume saat ruang silinder di tekan (proses kompresi) oleh piston dan memiliki ukuran ruang terkecil (saat piston pada posisi TMA) seperti pada gambar 2.7. Pada ruang bakar tentu harus diperhitungkan terlebih dahulu seberapa besar volume ruang bakar, dengan rumus rasio kompresi yaitu :

$$\text{Volume Silinder} = \frac{3,14 \times \text{Bore} \times \text{Bore} \times \text{stroke} \times \text{jumlah silinder}}{4}$$

$$\text{Volume Ruang Bakar} = \frac{\text{Volume Silinder}}{(\text{Rasio Kompresi}-1)}$$

$$\text{Rasio Kompresi} = \frac{(\text{Volume Silinder} + \text{Volume Ruang Bakar})}{\text{Volume Ruang Bakar}}$$



Gambar 2.7 Ilustrasi Menghitung Kompresi Rasio  
Sumber :Allan Bonnick ( 2011 : 12 )

## 2.6 Meningkatkan Rasio Kompresi

Dari bebrbagai macam penjelasan tentang etanol, untuk memaksimalkan kinerja mesin salah satunya ialah dengan meningkatkan rasio kompresi karena etanol memiliki karakteristik yang cukup berbeda dengan *gasoline* (bensin) seperti pada nilai oktan, LHV, dan sebagainya yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Ada berbagai cara untuk meningkatkan rasio kompresi tujuannya selain untuk mendapatkan pembakaran yang lebih sempurna karena meningkatnya efisiensi termal yang akan membuat pembakaran menjadi lebih efektif juga untuk menaikkan power dari mesin untuk menggarakan daya efektif poros. Berikut berbagai cara untuk meningkatkan rasio kompresi :

1. Menggunakan piston dengan permukaan yang lebih timbul (jenong)
2. Mengurangi ketebalan gasket
3. Membubut *cylinder block* untuk mengurangi ketinggian *cylinder block*
4. membubut *head cylinder* untuk mengurangi volume *head cylinder*

Cara yang paling signifikan dan efisien untuk meningkatkan rasio kompresi ialah dengan membubut *cylinder head* atau *cylinder block* menjadi tipis. Karena dapat menaikkan kompresi hingga  $> 20 \%$  dan tidak merubah arah aliran pembakaran pada ruang bakar. Dengan ketebalan *cylinder head* atau *cylinder block* yang lebih tipis menyebabkan volume

ruang bakar menjadi lebih kecil sehingga berbanding terbalik dengan rasio kompresi yang menjadi lebih tinggi seiring semakin berkurang volume ruang bakar tersebut.

## 2.7 Karakteristik Mesin Otto 4 Langkah

Tiap jenis kendaraan memiliki berbagai macam karakteristik yang dapat menggambarkan kinerja dari mesin tersebut. Dengan variasi variable yang dapat dicari akan memudahkan nantinya untuk mengetahui seberapa besar kinerja yang dapat dihasilkan oleh kendaraan tersebut. Data variable digunakan untuk menggambarkan bentuk hubungan antara variable tertentu yang dapat berasal dari pengukuran langsung pada saat pengujian, atau juga dapat dihitung dari data yang telah didapat dari pengukuran. Seperti data debit bahan bakar dan juga putaran mesin yang dapat dilihat langsung selama pengujian menggunakan alat ukur namun, daya efektif, torsi, dan efisiensi termal harus dilakukan penghitungan dari pengukuran terhadap tiap parameter yang telah ditentukan.

- 1) Putaran terhadap torsi (T).
- 2) Putaran terhadap daya indikatif ( $N_i$ ), daya efektif ( $N_e$ ), dan daya mekanik ( $N_f$ )
- 3) Putaran terhadap *Specific Fuel Consumption* (SFC)
- 4) Putaran terhadap *Mean Effective Pressure* (MEP)
- 5) Putaran terhadap efisiensi ( $\eta_i$ ,  $\eta_e$ ,  $\eta_m$ ,  $\eta_v$ )
- 6) Putaran terhadap keseimbangan panas
- 7) Putaran terhadap komposisi gas buang seperti CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub>

### 2.7.1 Torsi (T)

Didalam silinder ruang bakar pada proses pembakaran yang menghasilkan ledakan dan juga tekanan yang dapat menekan piston melalui langkah kerja atau ekspansi. Tekanan tersebut akan diolah menjadi gaya oleh piston yang akan dilanjutkan oleh setang piston (*Crank shaf*), yang selanjutnya dapat menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros engkol ini akan menimbulkan momen putar yang disebut torsi. Alat ukur yang dapat mendeteksi besarnya nilai torsi suatu mesin ialah dynamometer dan juga akan menunjukkan besarnya beban pengereman atau gaya pada poros.

Sehingga harga torsi bisa diperoleh dari hasil perkalian antara besarnya nilai beban pengereman dari panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros.

Persamaannya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F \times L \text{ [kg.m]}$$

Dimana :

T = Torsi (kg.m)

F = Gaya pada poros yang terbaca pada timbangan di dynamometer (kg)

L = Panjang lengan dynamometer = 0,3 (m)

### 2.7.2 Daya Efektif ( $N_e$ )

Daya efektif motor bakar adalah proporsional dengan perkalian torsi yang terjadi pada poros output (T) dengan putaran kerjanya (n) atau dalam kata lain daya efektif merupakan daya yang keluar dari poros yang digunakan untuk menggerakkan beban. Karena sering berubahnya putaran kerja poros terutama pada mesin kendaraan bermotor, besar torsi pada poros yang dapat dijadikan indikator kinerja mesin. Daya efektif memiliki rumus sebagai berikut :

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2 \text{ (PS)}}$$

Dimana :

$N_e$  = Daya efektif (PS)

T = Torsi ( kg.m)

n = Putaran (rpm)

### 2.7.3 Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

Efisiensi termal efektif adalah perbandingan kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif digunakan untuk mengetahui seberapa ekonomis suatu mesin dalam penggunaan bahan bakar. Seberapa besar bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi daya efektif pada poros, nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan SFCE. Rumus efisiensi termal efektif dihitung dengan :

$$\eta_e = \frac{632 N_e}{FC \cdot Q_1} = \frac{632}{SFCE \cdot Q_1}$$

Dimana :

$\eta_e$  = Efisiensi termal efektif (%)

$Q_1$  = Nilai kalor bawah bahan bakar (LHV) (kkal.kg<sup>-1</sup>)

### 2.7.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 PS selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) didapatkan dari nilai daya efektif dan konsumsi bahan bakar yang telah diperoleh. Nilai ini didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$FC = V \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000}$$

$$SFCe = \frac{FC}{Ne}$$

Dimana :

SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg.PS<sup>-1</sup>.jam)

FC = Penggunaan bahan bakar tiap jam ( kg.jam<sup>-1</sup>)

Ne = Daya efektif (PS)

V = Volume Alir (ml.s<sup>-1</sup>)

P = Massa jenis ( gr. ml<sup>-1</sup>)

## 2.8 Gaya Pengereman

Rem adalah bagian penting dari kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan. Rem dapat dijadikan beban pada mesin untuk menentukan seberapa besar mesin dapat menerima beban sehingga mesin tersebut memberikan gaya berupa beban pengereman.

## 2.9 Hipotesis

Naiknya rasio kompresi akan mempengaruhi kinerja mesin yang meliputi torsi, daya efektif, SFCe, dan juga efisiensi termal efektif. Rasio kompresi merupakan perbandingan antara volume total dengan volume ruang bakar, dimana semakin kecil nilai volume ruang bakar akan semakin tinggi nilai rasio kompresi sehingga meningkatkan tekanan pada ruang bakar yang membuat suhu didalam ruang bakar juga meningkat sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan akhirnya dapat meningkatkan nilai torsi. Semakin besar nilai torsi maka nilai daya efektif, SFCe, dan efisiensi termal efektif akan semakin baik.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian performa motor bakar dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya pada bulan Maret 2017 sampai dengan selesai dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*).

Pengujian dilakukan secara langsung dengan mengatur variasi rasio kompresi terhadap kinerja mesin *otto* 4 langkah sistem injeksi dengan bahan bakar etanol.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1 Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai faktor yang diukur, dipilih atau diubah oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara suatu fenomena yang akan diamati atau diobservasi. Penelitian ini memiliki variabel bebas sebagai berikut :

- Besarnya putaran diatur dengan memberikan gaya pengereman pada roda belakang dengan variasi putaran sebesar : 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, dan 7000 putaran/menit.

- Rasio kompresi

Rasio kompresi pada penelitian ini menggunakan variasi rasio kompresi pada ruang bakar sebagai berikut : 9.3 : 1, 10.6 : 1 dan 11.5 : 1

#### 2 Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya telah diketahui setelah dilakukan penelitian dan tergantung besarnya dari variable bebas yang dimasukkan. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah torsi, daya efektif, efisiensi termal efektif, dan SFCE.

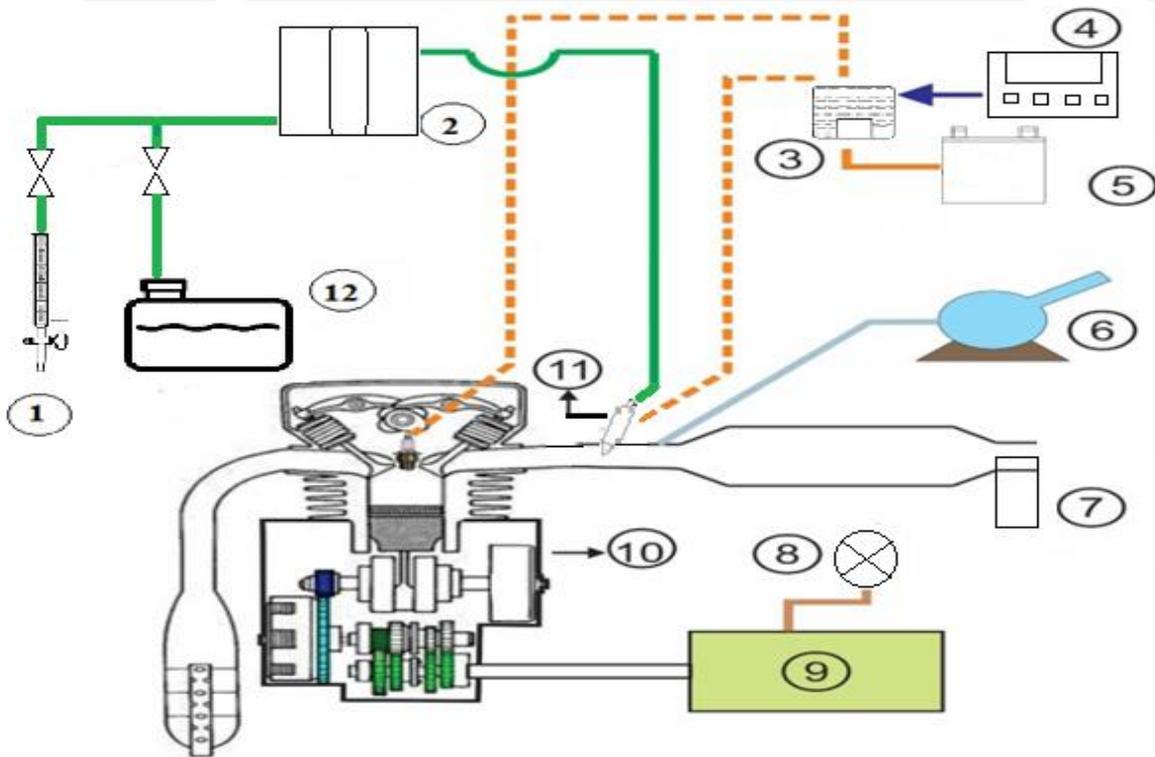
3 Variabel terkontrol (*controlled variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan pada kondisi konstan. Pada penelitian ini variabel terkontrolnya adalah sebagai berikut:

- Bahan bakar yang digunakan ialah etanol 96% dan 99%
- Transmisi mesin dikondisikan pada gear 2 (rasio 1 : 5.1925).
- *Ignition timing* dan AFR yang digunakan pada kondisi standar.-
- Tekanan rem dijaga konstan 1,5 bar

3.3 Skema Instalasi Penelitian

Instalasi alat penelitian yang dilakukan seperti gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Skema Alat

Keterangan:

- |                            |                          |                         |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1. buret 10 ml             | 5. <i>Accu</i>           | 9. <i>Dinamometer</i>   |
| 2. <i>tangki sementara</i> | 6. <i>Tuas throttle</i>  | 10. <i>Mesin Otto</i>   |
| 3. ECU                     | 7. <i>Anemometer</i>     | 11. <i>Injector</i>     |
| 4. Remote ECU              | 8. <i>Pressure gauge</i> | 12. <i>Tangki utama</i> |

- Arus *Accu*
- Sinyal ECU
- Aliran bahan bakar
- Kawat *setting*
- Tekanan fluida rem

Instalasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan motor bensin 4 langkah satu silinder bervolume 125 cc dengan sistem injeksi yang ditempatkan pada suatu rangka penyangga sehingga alat uji dalam kondisi statis. Bahan bakar berupa etanol di masukkan ke dalam tangki bahan bakar. Dari tangki, bahan bakar akan dipompa ke ruang bakar melalui injektor ketika alat uji dinyalakan. ECU akan mengirim sinyal ke injektor untuk membuka aliran bahan bakar yang telah di tentukan ke ruang bakar sesuai dengan parameter yang diperoleh dari sensor-sensor yang terdapat pada mesin. Setelah masuk ke ruang bakar ECU juga mengatur waktu pengapian untuk menyediakan daya yang lebih efisien. Sedangkan aliran bahan bakar yang akan masuk melalui injektor akan diketahui nilainya menggunakan buret yang telah dipasang. Untuk mengatur besarnya campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar maka akan diatur melalui pengatur *throttle*. Lalu untuk pembacaan nilai putaran mesin digunakan *remote* ECU yang tersambung pada ECU *programmable* dimana didalam *remote* ECU sudah dapat dilihat besarnya nilai putaran, *ignition timing* dan juga AFR. Perubahan rasio kompresi sendiri dilakukan sebelum pengujian dilakukan. Untuk variasi pertama digunakan variasi rasio kompresi standar, kemudian pada variasi kedua piston akan diganti dengan *cylinder block*, dengan beda ketebalan 1.5 mm yang akan membuat volume ruang bakar akan lebih kecil. Pada variasi rasio kompresi ketiga pada blok silinder dengan *gasket* 1mm tadi akan dilepas sehingga menyebabkan volume ruang bakar semakin kecil dari variasi rasio kompresi yang kedua. Sedangkan untuk pembacaan gaya pembebanan digunakan neraca pegas pada dinamometer.

### 3.4 Alat-alat Pengujian

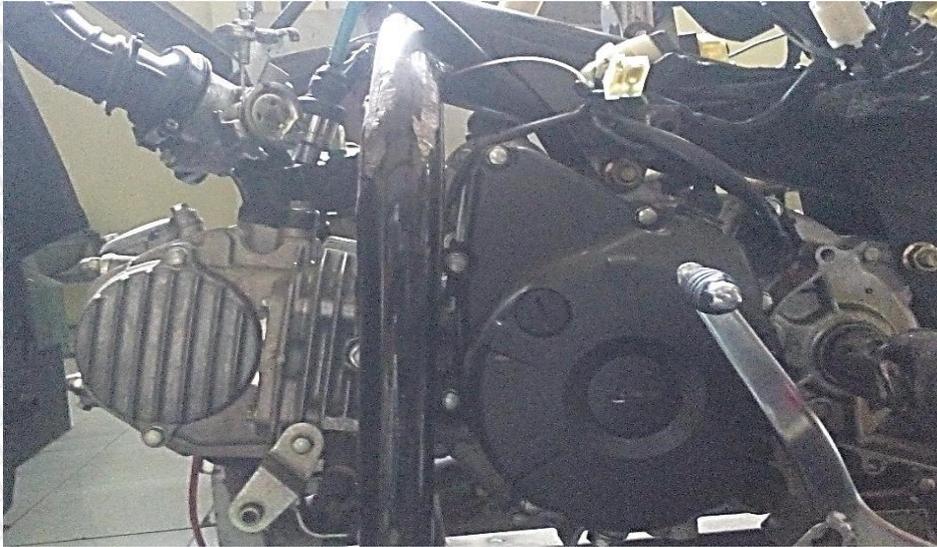
Peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu :

a. Mesin *Otto* 4 Langkah 125 cc

Pada pengujian ini digunakan mesin *otto* 4 langkah dengan sistem injeksi berkapasitas 125 cc seperti pada gambar 3.2 dengan bahan bakar etanol 96 % sebagai pengganti bahan bakar bensin. Berikut ini spesifikasi dari mesin tersebut:

- Tipe Mesin : 4-langkah, SOHC, silinder tunggal
- Kapasitas mesin : 124.8 cc
- Bore X Stroke : 52.4 X 57.9 mm
- Rasio kompresi : 9.3 : 1
- Jumlah silinder : Silinder tunggal
- Sistem bahan bakar : *Fuel injection*

□ □ Tipe transmisi : 4 percepatan, rotari (N – 1 – 2 – 3 – 4 – N)



*Gambar 3.2* Mesin Otto 4 Langkah

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

b. Dinamometer

Dinamometer seperti pada gambar 3.3 berfungsi untuk mengukur besarnya torsi dari tenaga yang dihasilkan oleh mesin selama pengujian dengan lengan torsi sebesar 30 cm.



*Gambar 3.3* Dinamometer

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

c. Anemometer digital

Anemometer digital seperti pada gambar 3.4 berfungsi untuk mengukur kecepatan udara yang masuk melewati *intake manifold* yang nantinya dikonversi menjadi massa alir udara.

Spesifikasi anemometer yang digunakan:

- *Air velocity* 0,4-30 m/s.
- *Temperature* -10-45°C
- *Battery* CR2032 3.0V
- *Konsumsi daya* 3mA



Gambar 3.4 Anemometer Digital

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

e. ECU Programmable

*ECU programmable* seperti pada gambar 3.5 digunakan untuk menggantikan ECU standar yang terdapat pada motor yang dapat diprogram sesuai dengan kondisi mesin yang diinginkan peneliti atau pengguna. Banyak hal yang dapat diprogram oleh sebuah ECU *programmable* diantaranya adalah *injector duration* (lamanya *injector* menginjeksikan bahan bakar), *injector timing* (waktu injeksi bahan bakar) dan *ignition timing*. Berikut spesifikasi ECU:

□□ *Smart dual i-core* (dengan fungsi *dualband* dapat memilih 2 pengaturan yang berbeda saat motor sedang berjalan) Berikut beberapa fitur yang terdapat pada ECU ini:

- 10 memori *fuel correction*
- 5 memori *ignition timing*
- 5 memori *base map*

- 3 memori *injector timing*

- *Adjustable limiter rpm*



Gambar 3.5 ECU Programmable Jukem 3 BRT

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

f. *Remote Programmer*

*Remote Programmer* seperti pada gambar 3.6 berfungsi untuk memprogram ECU sesuai kebutuhan yang diinginkan.

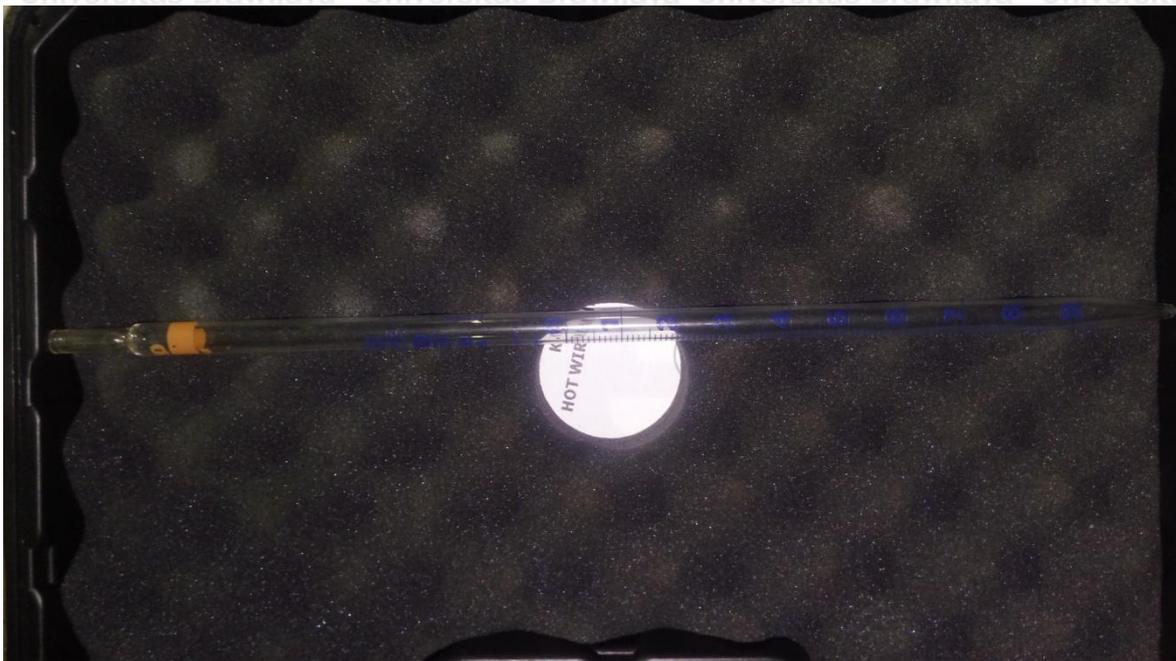


Gambar 3.6 Remote Programmer I-Max 3

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

g. Buret 10 ml

Buret 10ml seperti pada gambar 3.7 berfungsi untuk mengetahui konsumsi bahan bakar yang terpakai selama pengujian berlangsung.



Gambar 3.7 Buret 10 ml

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

#### h. *Cylinder Block*

*Cylinder block* seperti pada gambar 3.8 merupakan suatu komponen mesin yang digunakan untuk membentuk ruang bakar bersama dengan *cylinder head*. Pada blok silinder juga terdapat silinder yang digunakan piston untuk naik turun ketika mesin bekerja.. Pada pengujian ini perubahan variasi kompresi dilakukan dengan penggantian *cylinder block*, *cylinder block* yang digunakan merupakan *cylinder block* standar dan *cylinder block* yang telah dikurangi ketebalannya sebesar 1,5 mm.



Gambar 3.8 *Cylinder Block*

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

### 3.5 Metode Pengambilan Data

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data dalam penelitian ini, yaitu : dimulai dengan menyiapkan alat-alat dan bahan penelitian sesuai dengan skema instalasi.

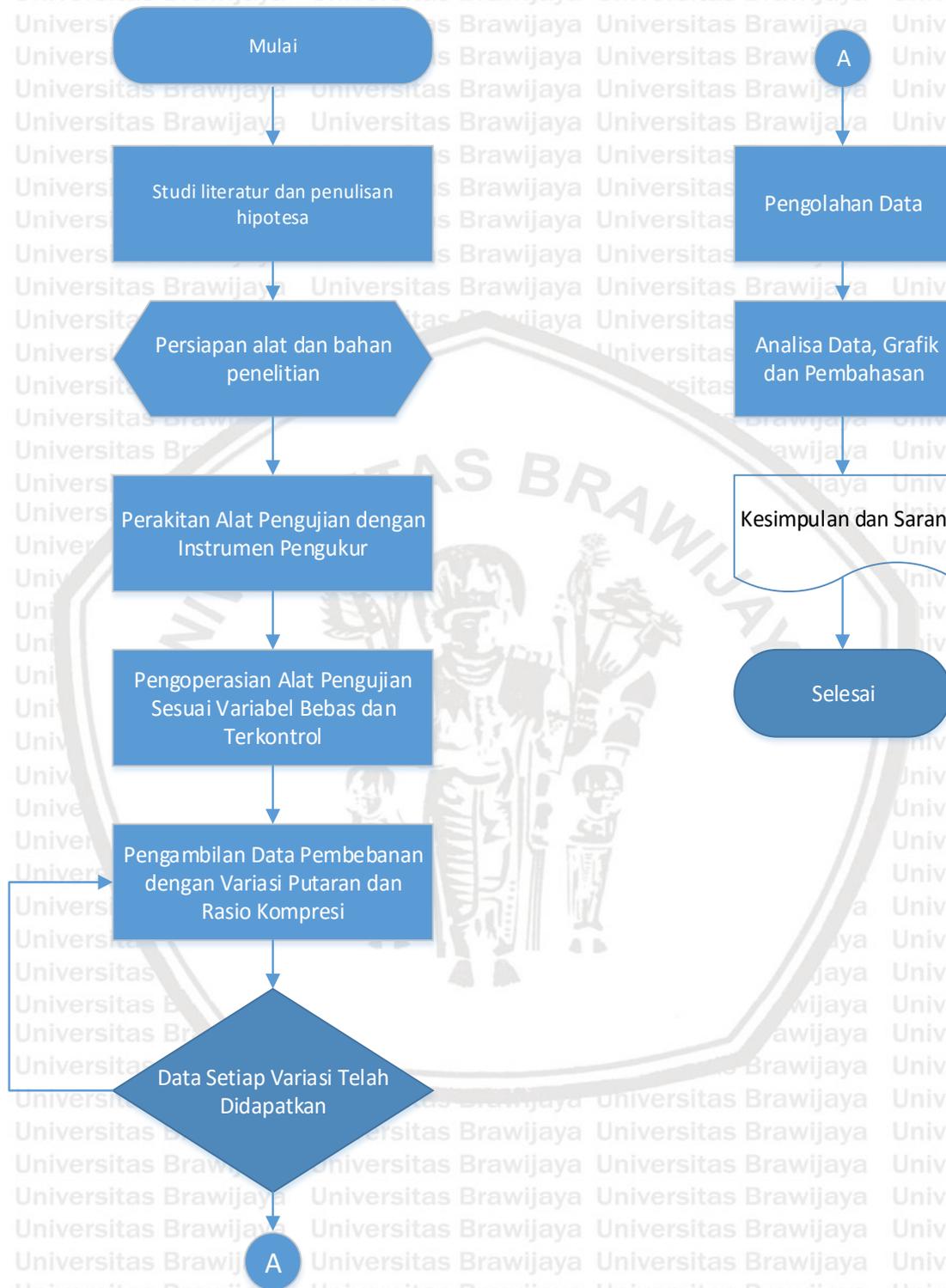
Selanjutnya, menambahkan *gasket* sebesar 1mm ditambahkan tiap variasi rasio kompresi di bawah blok silinder sesuai variabel bebas yang telah diketahui. Langkah berikutnya yaitu, alat uji diyalakan dan *blower* digunakan sebagai pendingin pada saat pengujian.

Transmisi dimasukan pada *gear 2* dan putaran mesin diatur dengan mengubah *throttle* sesuai variasi variabel bebas. Setelah sistem berjalan dilakukan pengambilan data berupa gaya pengereman, kecepatan udara masuk ruang bakar, dan debit bahan bakar etanol pada tiap-tiap putaran mesin. Untuk melakukan pengujian pada rasio kompresi yang berbeda maka mesin dimatikan terlebih dahulu. Rasio kompresi yang baru diatur dan langkah-langkah pengujian diulang seperti langkah yang telah dilakukan sebelumnya. Pengambilan data dengan rasio kompresi dilakukan sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan. Setelah pengambilan data selesai, maka transmisi motor dikembalikan pada *gear* netral.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu :





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data dari kinerja mesin otto berbahan bakar CNG dilakukan dengan memvariasikan *Compression Ratio* (CR) dengan mengurangi gasket lalu memvariasikan rasio kompresi dengan mengurangi ketinggian *cylinder block*. Pada saat dilakukan pengujian, etanol yang digunakan memiliki kadar 96% dan 99%. lalu tekanan beban pengereman dijaga konstan 1,5 bar. Pengambilan data diambil pada setiap putaran *crankshaft* dari 2500 rpm hingga 7000 rpm dengan interval 500 rpm. Data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

Jenis Pengujian : Pengujian Kinerja Mesin Otto

Temperatur Ruang : 27 °C

Tekanan Udara Atmosfer : 1 atm

Etanol : 0.789 kg/m<sup>3</sup>

Udara : 1.2 kg/m<sup>3</sup>

Tabel 4.1  
Data Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Etanol 99%	Etanol 96%	Gasoline
Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	0.789	0.788.8	0.9
<i>Lower Heating Value</i> (kcal/kg)	6432.72	6432.72	10507.2
Viskositas (Cst)	4.6294	3.0959	0.8
<i>Auto Ignition Temperature</i> (°C)	374	396	280
<i>Flashpoint</i> (°C)	8	14.7	-43
<i>Firepoint Temperature</i> (°C)	38	44,7	-13

Tabel 4.2

Data Gaya Pengereman Setiap Variasi Rasio kompresi dan Putaran

$n_{crankshaft}$ t (rpm)	$n_{dinamomet}$ er (rpm)	F dinamometer (kg)						
		Gasoline	CR 9,3 96%	CR 10,6 96%	CR 11,5 96%	CR 9,3 99%	CR 10,6 99%	CR 11,5 99%
2500	481.46	5.70	5.433	5.45	5.6	5.36	5.4	5.65
3000	577.76	5.93	5.733	5.675	5.825	5.53	6	5.9
3500	674.05	6.77	5.967	6	6.3	5.66	6.25	6.4
4000	770.34	6.73	6.167	6.25	6.45	6.16	6.425	6.6
4500	866.63	6.67	6.267	6.35	6.55	5.56	6.35	6.475
5000	962.93	6.33	5.9	6.1	6.25	5.63	6.075	6.2
5500	1059.22	6.1	5.767	5.8	5.875	5.26	5.8	5.975
6000	1155.51	5.7	5.533	5.475	5.55	5.1	5.375	5.5
6500	1251.81	5.5	5.1	5.2	5.275	4.86	5.25	5.35
7000	1348.1	5.23	4.9	4.875	4.975	4.63	5.025	5.125

#### 4.1.2 Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian pada tabel 4.1 sampai 4.3 maka dapat dilakukan pengolahan data pengujian untuk mendapatkan nilai kinerja mesin otto berupa torsi pada *crankshaft* ( $T_{crankshaft}$ ), daya efektif ( $N_e$ ), *fuel consumption* (FC), *specific fuel consumption effective* (SFCe) dan efisiensi termal efektif ( $\eta_e$ ). Untuk pengolahan data torsi *crankshaft* dilakukan dengan menghitung torsi pada dinamometer menggunakan persamaan 2-5, kemudian nilai torsi dinamometer yang didapat dikonversikan menjadi nilai torsi pada *crankshaft* menggunakan *rasio* putaran *gearbox*. Berikut adalah contoh perhitungan kinerja pada putaran *crankshaft* 4500 rpm dengan rasio kompresi 11.5 : 1.

*Compression Ratio* (CR) : 11.5 : 1

Putaran *crankshaft* ( $n_{crankshaft}$ ) : 4500 rpm

Putaran dinamometer ( $n_d$ ) : 866,63 rpm

Rasio *gearbox* : 5,1925

Gaya pengereman dinamometer ( $F_d$ ) : 6,55 kg

Panjang lengan dinamometer (L) : 0,3 m

Nilai kalor bawah etanol (LHV) (Q1) : 6432.72 kkal/kg

Densitas etanol ( $\rho$ ) : 0,789 kg/m<sup>3</sup>

- Torsi *crankshaft* ( $T_{crankshaft}$ )

$$T_{dinamometer} = Fd \cdot L$$

$$= 6,55 \text{ kg} \times 0,3 \text{ m}$$

$$= 1,965 \text{ kg.m}$$

$$T_{crankshaft} \cdot n_{crank} = T_{dinamometer} \cdot n_d$$

$$T_{crankshaft} = \frac{T_{dinamometer} \cdot n_d}{n_{crank}}$$

$$= \frac{1,965 \text{ kg.m} \cdot 866,63 \text{ rpm}}{4500 \text{ rpm}}$$

$$= 0,378 \text{ kg.m}$$

Tabel 4.3

Data Torsi pada Setiap Variasi Rasio kompresi dan Putaran

$n_{crankshaft}$ t (rpm)	$n_{dinamometer}$ er (rpm)	Torsi (kg.m)						
		Gasoline	CR 9,3 96%	CR 10,6 96%	CR 11,5 96%	CR 9,3 99%	CR 10,6 99%	CR 11,5 99%
2500	481.46	0.329	0.314	0.315	0.324	0.31	0.312	0.326
3000	577.76	0.343	0.331	0.328	0.337	0.319	0.347	0.341
3500	674.05	0.391	0.345	0.347	0.364	0.327	0.361	0.37
4000	770.34	0.389	0.356	0.361	0.373	0.356	0.371	0.381
4500	866.63	0.385	0.362	0.367	0.378	0.321	0.367	0.374
5000	962.93	0.366	0.341	0.352	0.361	0.325	0.351	0.358
5500	1059.22	0.352	0.333	0.335	0.339	0.304	0.335	0.345
6000	1155.51	0.329	0.32	0.316	0.321	0.295	0.311	0.318
6500	1251.81	0.318	0.295	0.3	0.305	0.281	0.303	0.309
7000	1348.1	0.302	0.283	0.282	0.287	0.268	0.29	0.296

- Daya Termal Efektif ( $Ne$ )

$$Ne = \frac{T \times n}{716.2}$$

$$Ne = \frac{0.378 \times 4500}{716.2}$$

$$Ne = 2.378 \text{ PS}$$

- *Fuel Consumption (FC)*

$$FC = \frac{Q \times p \times 3600}{1000}$$

$$FC = \frac{0,346 \times 0.789 \times 3600}{1000}$$

$$FC = 0.983 \text{ kg/jam}$$

- *Specific Fuel Consumption Effective (SFCe)*

$$SFCe = \frac{FC}{Ne}$$

$$SFCe = \frac{0.983}{2,378}$$

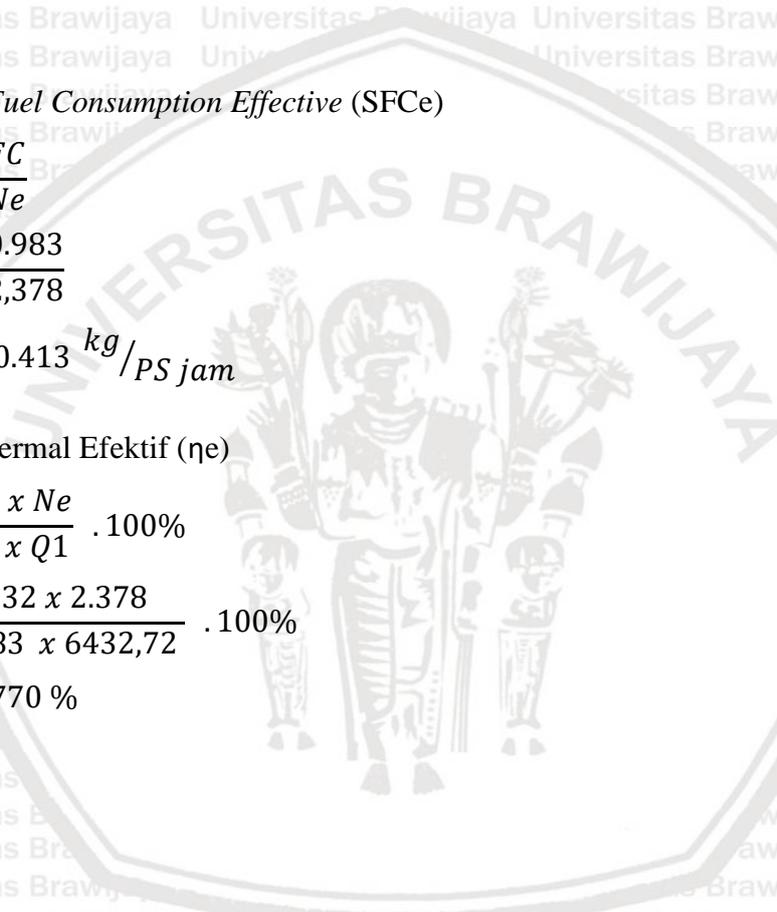
$$SFCe = 0.413 \text{ kg/PS jam}$$

- Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

$$\eta_e = \frac{632 \times Ne}{FC \times Q1} \cdot 100\%$$

$$\eta_e = \frac{632 \times 2.378}{0.983 \times 6432,72} \cdot 100\%$$

$$\eta_e = 23,770 \%$$



### 4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.4  
Hasil Pengolahan Data Daya Efektif

$n_{crankshaft}$ $t$ (rpm)	$n_{dinamomet}$ $e_r$ (rpm)	Ne (PS)						
		Gasoline	CR 9,3 96%	CR 10,6 96%	CR 11,5 96%	CR 9,3 99%	CR 10,6 99%	CR 11,5 99%
2500	481.46	1.15	1.096	1.099	1.129	1.081	1.089	1.139
3000	577.76	1.435	1.387	1.373	1.41	1.338	1.452	1.428
3500	674.05	1.911	1.685	1.694	1.779	1.598	1.765	1.807
4000	770.34	2.172	1.99	2.017	2.081	1.988	2.073	2.13
4500	866.63	2.421	2.275	2.305	2.378	2.018	2.305	2.351
5000	962.93	2.553	2.38	2.46	2.521	2.271	2.45	2.501
5500	1059.22	2.706	2.559	2.573	2.607	2.334	2.573	2.651
6000	1155.51	2.759	2.678	2.65	2.686	2.468	2.602	2.662
6500	1251.81	2.884	2.674	2.727	2.766	2.548	2.753	2.805
7000	1348.1	2.953	2.767	2.753	2.809	2.615	2.838	2.894

Tabel 4.5  
Hasil Pengolahan Data Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

$n_{crankshaft}$ $t$ (rpm)	$n_{dinamomet}$ $e_r$ (rpm)	SFCe (kg / PS jam)						
		Gasoline	CR 9,3 96%	CR 10,6 96%	CR 11,5 96%	CR 9,3 99%	CR 10,6 99%	CR 11,5 99%
2500	481.46	0.341	0.665	0.512	0.449	0.67	0.548	0.472
3000	577.76	0.298	0.594	0.437	0.379	0.554	0.468	0.394
3500	674.05	0.28	0.534	0.418	0.378	0.537	0.418	0.333
4000	770.34	0.282	0.557	0.435	0.381	0.5	0.494	0.371
4500	866.63	0.313	0.537	0.408	0.413	0.495	0.479	0.428
5000	962.93	0.355	0.525	0.443	0.421	0.533	0.523	0.486
5500	1059.22	0.352	0.546	0.474	0.455	0.529	0.522	0.503
6000	1155.51	0.365	0.619	0.486	0.471	0.566	0.554	0.538
6500	1251.81	0.366	0.618	0.513	0.505	0.617	0.583	0.53
7000	1348.1	0.369	0.681	0.532	0.534	0.64	0.588	0.533

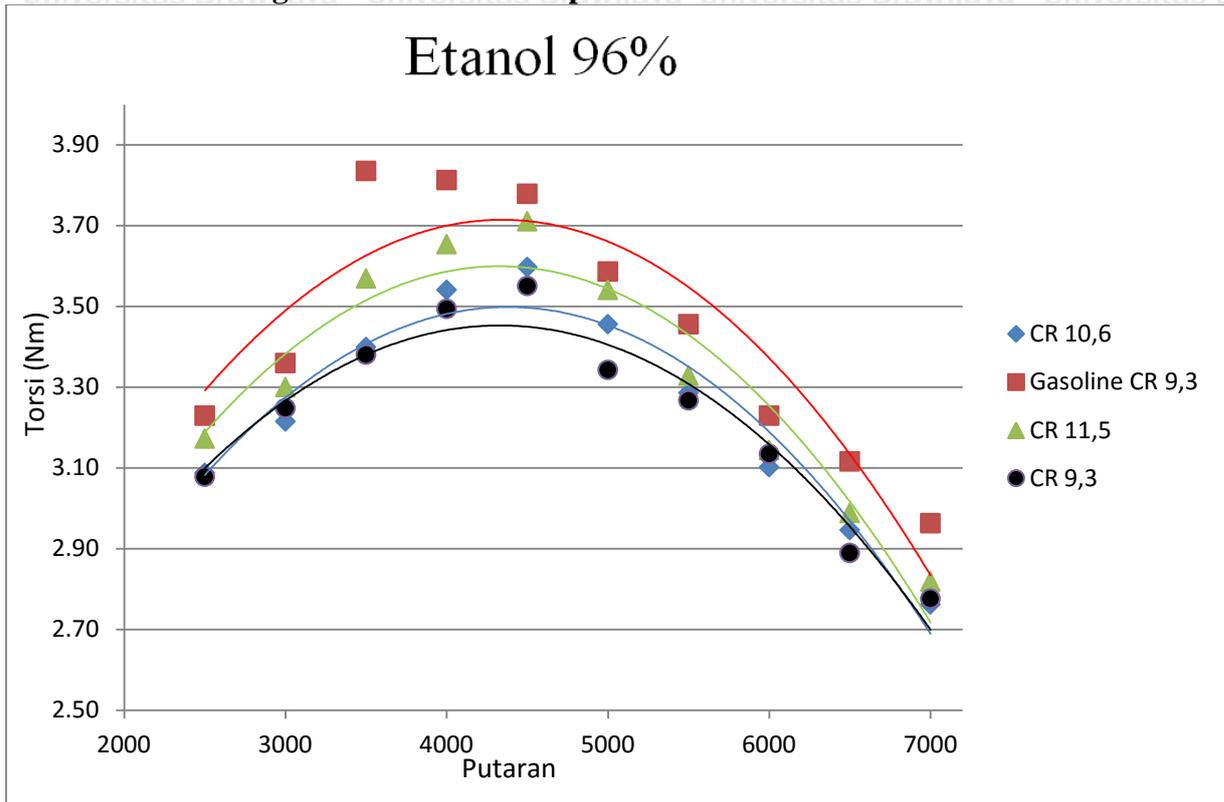
Tabel 4.6  
Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif

$n_{crankshaft}$ $n_r$ (rpm)	$n_{dinamomet}$ $n_e$ (rpm)	$\eta_e$ (%)						
		Gasoline	CR 9,3 96%	CR 10,6 96%	CR 11,5 96%	CR 9,3 99%	CR 10,6 99%	CR 11,5 99%
2500	481.46	17.637	14.766	19.201	21.885	14.663	17.938	20.799
3000	577.76	20.184	16.548	22.461	25.937	17.736	21.498	24.944
3500	674.05	21.506	18.402	23.486	25.961	18.303	23.521	29.483
4000	770.34	21.331	17.649	22.575	25.803	19.644	19.892	26.498
4500	866.63	19.21	18.3	24.089	23.77	19.833	20.523	22.935
5000	962.93	16.928	18.708	22.163	23.346	18.438	18.772	20.234
5500	1059.22	17.09	18.001	20.749	21.596	18.557	18.818	19.552
6000	1155.51	16.469	15.88	20.234	20.88	17.354	17.732	18.27
6500	1251.81	16.423	15.902	19.169	19.446	15.911	16.838	18.535
7000	1348.1	16.318	14.428	18.471	18.404	15.354	16.721	18.418

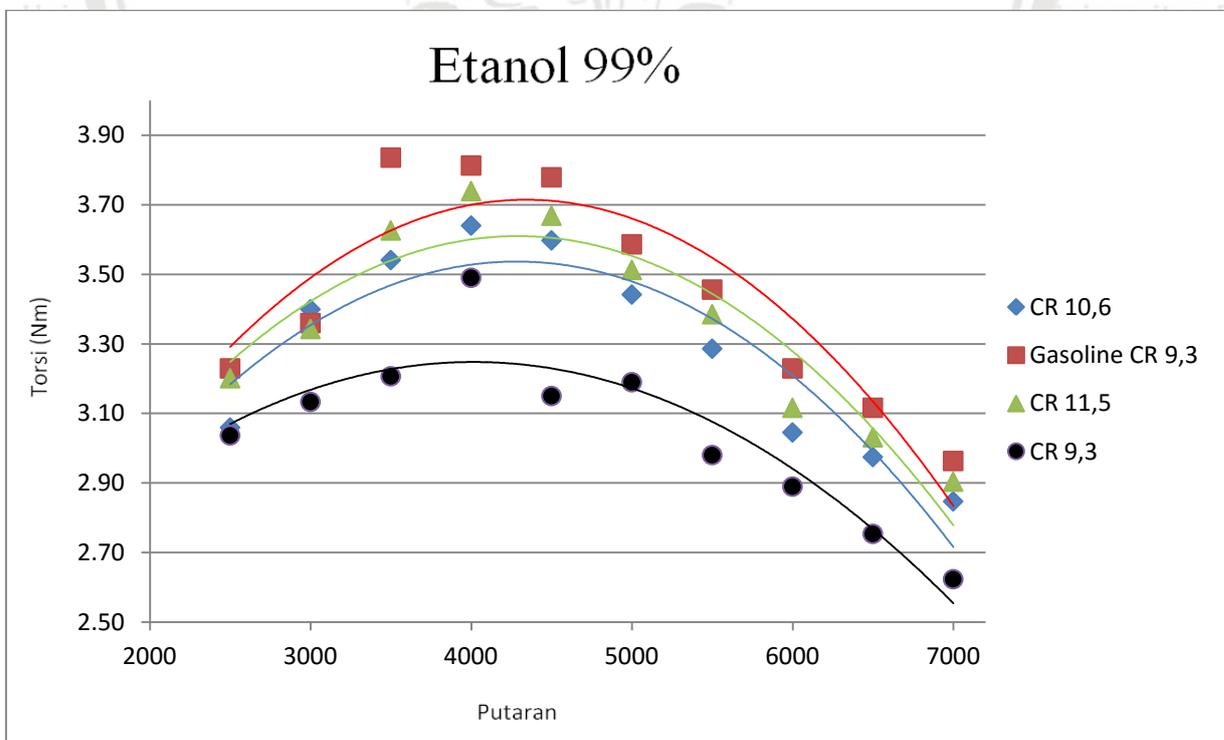
#### 4.2 Pembahasan Grafik

Dari hasil perhitungan data pengujian pada putaran 2500-7000 rpm dengan interval 500 rpm, pada setiap pengambilan data didapatkan nilai yang berhubungan dengan variasi putaran tersebut. Selanjutnya data hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam proses analisa data hasil perhitungan. Analisis grafik hubungan antara putaran dengan kinerja mesin *otto* 4 langkah sistem injeksi berbahan bakar etanol pada penelitian kali ini yaitu torsi, daya efektif, *specific fuel consumption effective* dan efisiensi termal efektif.

#### 4.2.1 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Torsi



Gambar 4.1 Hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 96%.



Gambar 4.2 Hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 99%.

Pada gambar 4.1 hingga 4.2 menunjukkan hubungan torsi terhadap putaran, dimana dari grafik dapat dilihat bahwa nilai putaran sangat mempengaruhi besarnya nilai torsi. Pada putaran rendah, torsi cenderung naik seiring bertambahnya putaran lalu torsi kemudian akan turun. Penurunan ini disebabkan karena semakin tingginya nilai suatu putaran mengakibatkan gerakan pada bukaan tutup katup isap pada langkah isap juga akan semakin cepat sehingga interval waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar masuk ke ruang bakar akan semakin sedikit, hal ini menyebabkan efisiensi volumetric menjadi berkurang atau energi yang digunakan untuk menggerakkan piston semakin kecil yang akhirnya menyebabkan torsi yang dihasilkan juga kecil.

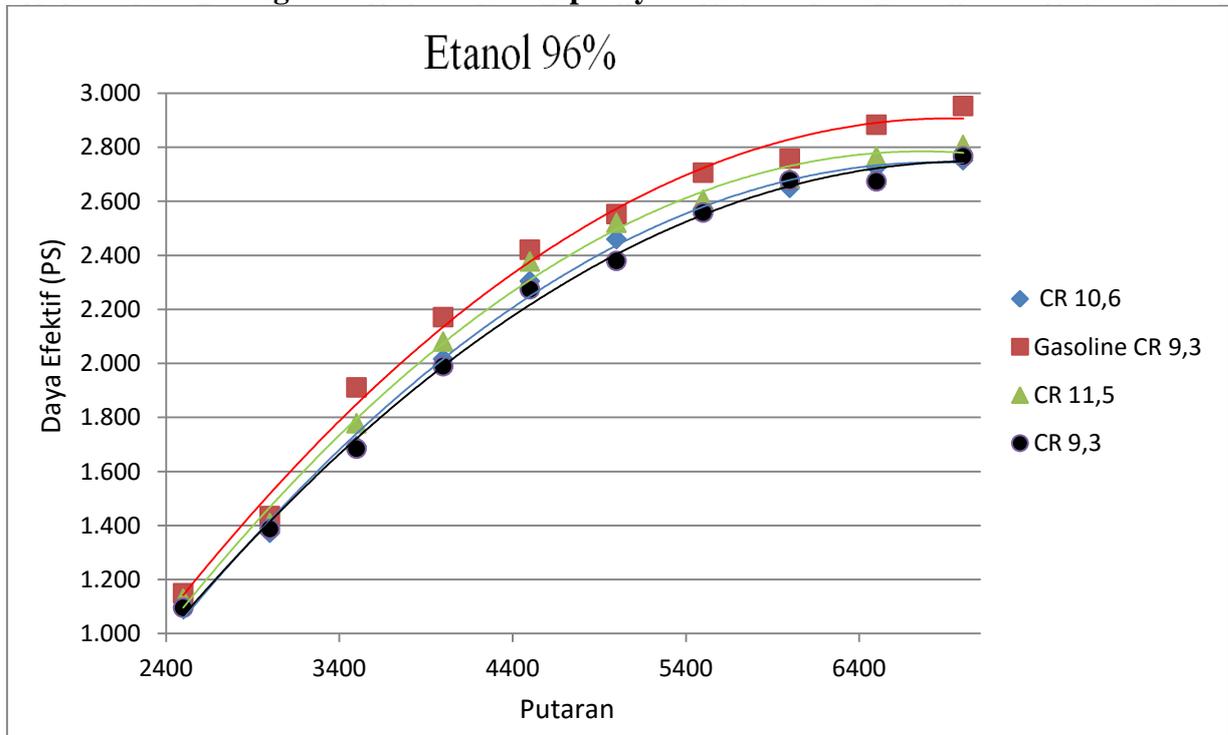
Dari kedua grafik dapat dilihat, dengan penggunaan bahan bakar etanol baik 96% maupun 99% pada mesin *otto* dengan rasio kompresi yang sama, akan menyebabkan penurunan nilai torsi dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar *gasoline* disebabkan dari karakteristik bahan bakar etanol yang tercantum pada tabel 4.1 diperoleh bahwa nilai *auto ignition temperatur*, *firepoint*, *flashpoint* dan kandungan air pada etanol yang lebih besar dibandingkan dengan *gasoline*. Sehingga menyebabkan *ignition delay* meningkat. Dari meningkatnya *ignition delay* menyebabkan bahan bakar semakin lama untuk terbakar sehingga energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran juga menurun yang berdampak nilai torsi yang menurun.

Sedangkan dengan meningkatnya rasio kompresi mesin, torsi yang dihasilkan mengalami peningkatan dari kedua bahan bakar baik etanol 96% maupun 99%. Hal ini dikarenakan dengan peningkatan rasio kompresi akan menaikkan tekanan dan temperatur ruang bakar sehingga dari peningkatan rasio kompresi dapat mempercepat *ignition delay* menyebabkan bahan bakar lebih cepat terbakar sehingga energi panas hasil pembakaran meningkat.

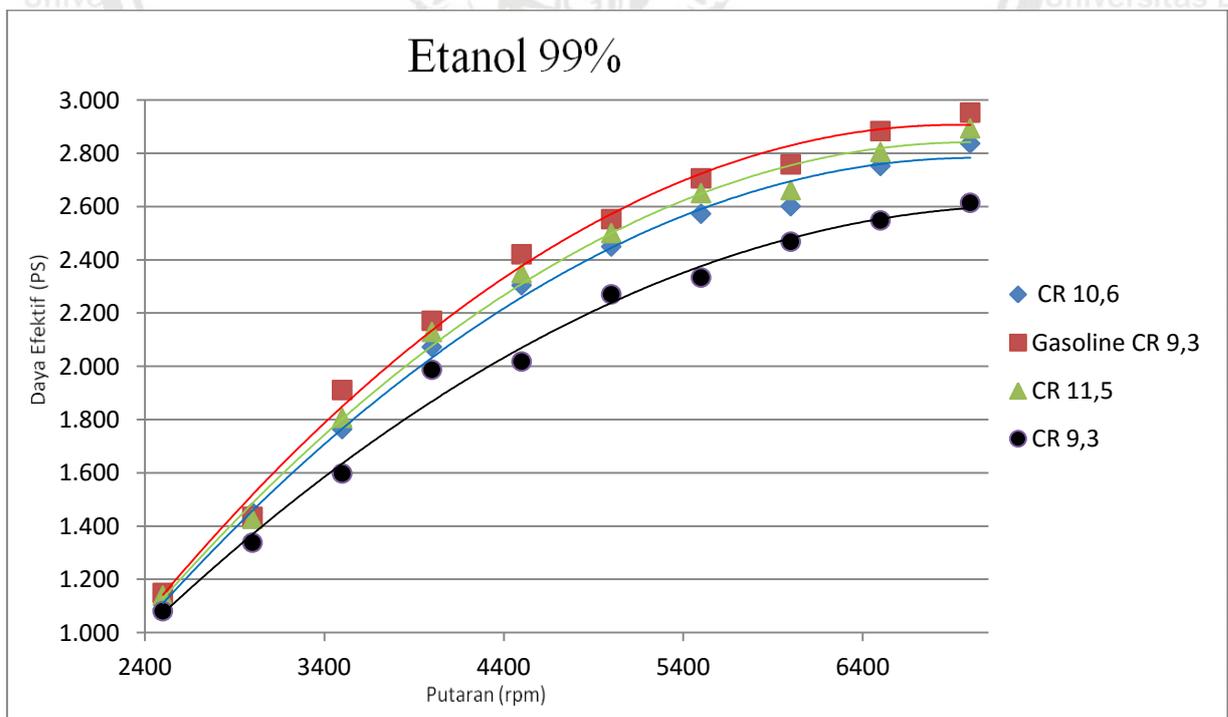
Torsi tertinggi pada setiap variasi rasio kompresi memiliki nilai yang berbeda-beda meskipun dimulai pada putaran 2500. Untuk *gasoline* dengan rasio kompresi standar 9.3 : 1 memiliki nilai torsi tertinggi 3,835 N.m pada putaran 3500 rpm lalu pada bahan bakar etanol 96% nilai torsi tertinggi adalah 3,710 N.m pada putaran 4500 rpm dengan rasio kompresi 11,5 : 1. Juga sama halnya dengan etanol 96% pada etanol 99% torsi tertinggi diraih oleh rasio kompresi 11,5 : 1 sebesar 3,739 N.m pada putaran 4000 rpm. Etanol 99% memiliki nilai torsi lebih tinggi karena memiliki nilai kandungan air yang lebih rendah dibandingkan dengan etanol 96% seperti yang telah dijelaskan sebelumnya sehingga menciptakan *ignition delay* yang lebih rendah dibandingkan etanol 96%. Dengan ini membuktikan bahwa peningkatan rasio kompresi dapat meningkatkan kinerja mesin *otto*

berbahan bakar etanol sebesar 0,7-6,5% dibandingkan variasi rasio kompresi lain dengan menggunakan bahan bakar etanol 96% ataupun 99%

#### 4.2.2 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Daya Efektif



Gambar 4.3 Hubungan putaran terhadap daya efektif dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 96%.



Gambar 4.4 Hubungan putaran terhadap daya efektif dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 99%..

Pada gambar 4.3 sampai 4.4 menunjukkan hubungan antara nilai daya efektif terhadap putaran. Dan dari tiap grafik dapat dilihat nilai putaran akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya efektifnya. Pada grafik dapat dilihat putaran yang semakin tinggi akan membuat daya efektif yang dihasilkan juga akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan dikarenakan besarnya nilai daya efektif di pengaruhi oleh nilai torsi dan juga putaran.

Pada pembahasan hubungan antara nilai putaran dengan torsi di jelaskan bahwa pada putaran tinggi mengakibatkan nilai torsi turun disebabkan oleh semakin besarnya nilai putaran maka gerakan buka tutup pada katup isap didalam langkah isap juga semakin cepat sehingga bahan bakar yang akan masuk ke dalam ruang bakar menjadi semakin sedikit yang menyebabkan energi yang dihasilkan juga akan berkurang. Penurunan torsi ini yang menyebabkan nilai daya efektif juga akhirnya menurun meskipun turunnya nilai torsi dan daya efektif berada pada nilai putaran yang berbeda. Nilai torsi akan mulai turun pada nilai putaran yang lebih rendah dibandingkan nilai putaran ketika daya mulai turun. Hal ini dikarenakan nilai daya efektif dipengaruhi oleh hasil perkalian nilai putaran dengan nilai torsi. Meskipun torsi cenderung turun, daya efektif akan terus meningkat karena putaran yang terus meningkat. Daya terus meningkat selama presentase kenaikan putaran masih melebihi presentase kehilangan torsi. Ketika keuntungan dan kerugian berada pada titik yang sama, maka akan tercapai puncak daya. Selanjutnya setiap penambahan putaran hanya akan menghasilkan penurunan daya.

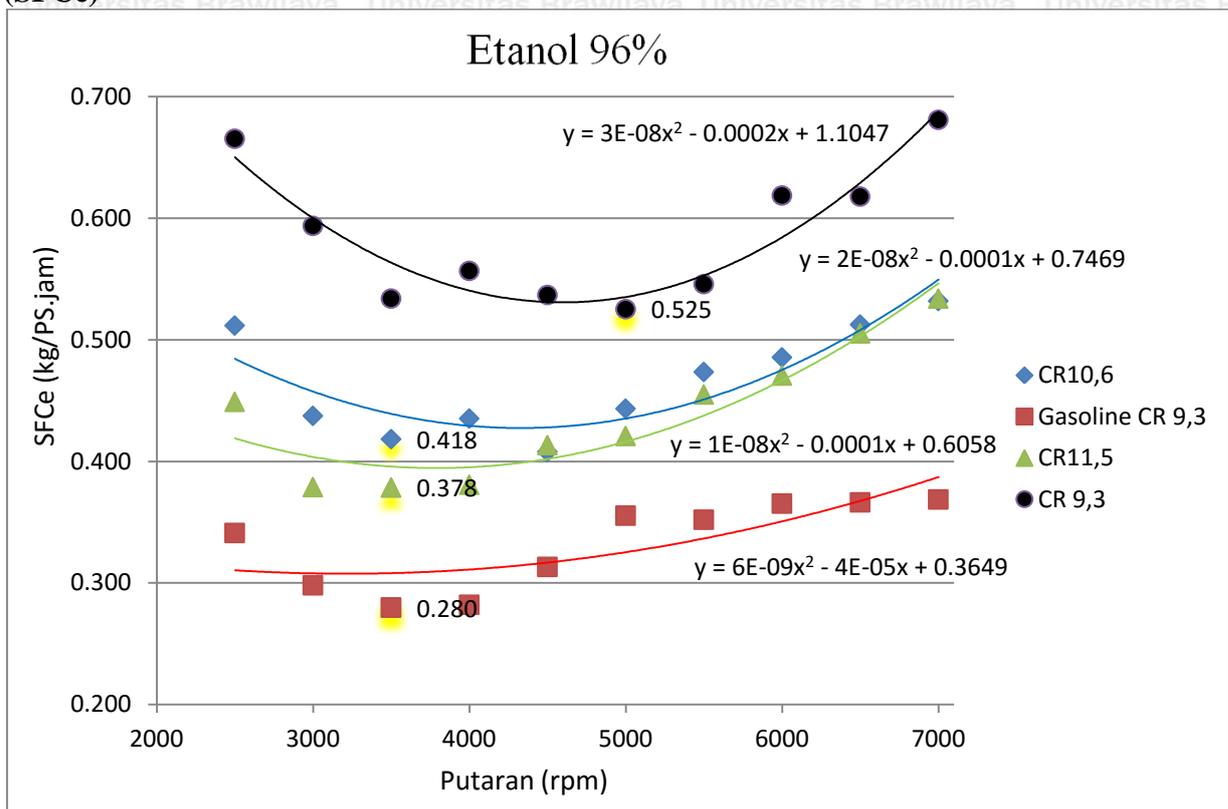
Dari grafik menunjukkan mesin *otto* berbahan bakar *gasoline* masih memiliki daya yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan bahan bakar etanol ditiap variasi rasio kompresi. Hal ini seperti yang telah dijelaskan dipembahasan sebelumnya dengan semakin meningkatnya *auto ignition temperature*, *flashpoint*, *firepoint temperature*, dan kandungan air maka *ignition delay* juga akan meningkat yang menyebabkan penurunan daya efektif ketika mesin berputar pada putaran tinggi karena semakin meningkatnya putaran maka siklus berlangsung semakin cepat sehingga proses terbakarnya bahan bakar juga semakin singkat. Hal ini ketika *ignition delay* bertambah maka proses terbakarnya bahan bakar terjadi semakin lama sehingga menurunkan gaya dorong piston yang berdampak menurunnya daya efektif. Namun dari tiap grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kompresi akan meningkatkan nilai daya efektifnya.

Nilai daya tertinggi diperoleh dengan pemakaian bahan bakar *gasoline* sebesar 2.953 PS pada putaran 7000 RPM. Kemudian pada dengan rasio kompresi 11.5 : 1 dengan bahan bakar etanol 99% sebesar 2,894 PS pada putaran yang sama sedangkan pada etanol 96%

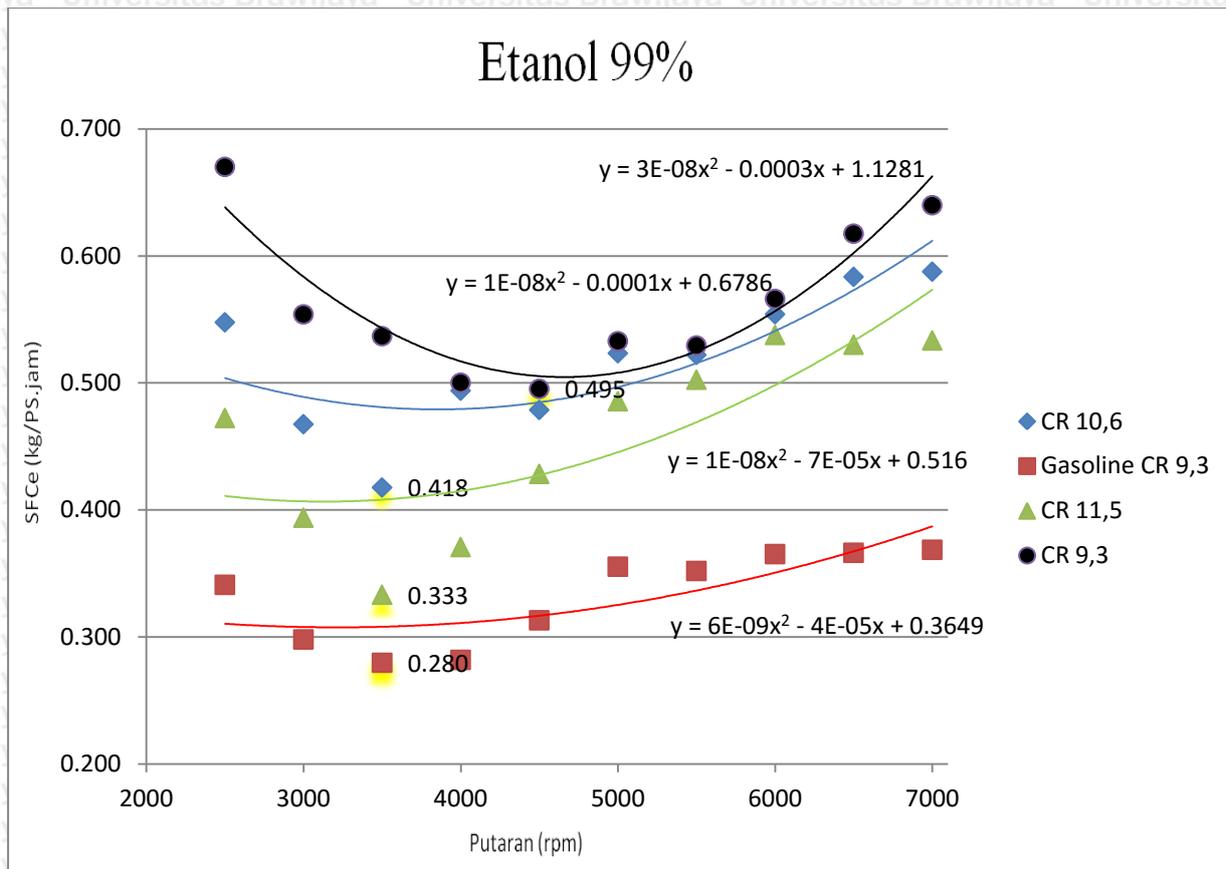
diperoleh daya tertinggi sebesar 2,809 PS dengan putaran dan rasio kompresi yang sama.

Dapat dilihat bahwa menaikkan rasio kompresi memiliki kelebihan dapat meningkatkan daya efektif mesin *otto* berbahan etanol sebesar 1,7-9,6% dibandingkan variasi rasio kompresi lain dengan menggunakan bahan bakar etanol 96% ataupun 99%.

#### 4.2.3 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)



Gambar 4.5 Hubungan putaran terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 96%.



Gambar 4.6 Hubungan putaran terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 99%.

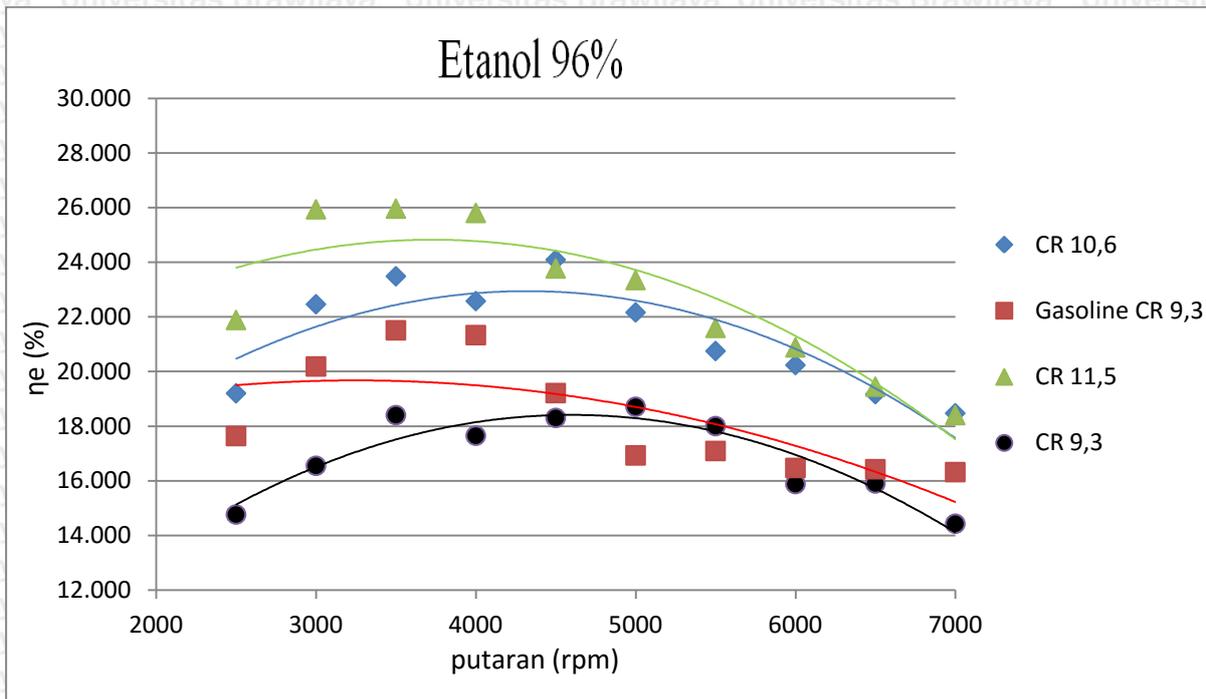
Pada gambar 4.5 hingga 4.6 bisa dilihat bahwa seiring bertambahnya putaran maka nilai SFCe akan semakin turun tetapi pada rpm tertentu nilai SFCe cenderung naik. Nilai SFCe yang tinggi pada saat awal putaran disebabkan karena adanya kerugian panas yang hilang menuju ke dinding silinder dan efisiensi pembakaran buruk yang menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar terhadap daya efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCe yang tinggi pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya kerugian mekanis yang terjadi akibat dari semakin cepatnya putaran yang mengakibatkan semakin kecilnya daya yang dihasilkan meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang sama yang mengakibatkan meningkatnya nilai SFCe atau dengan kata lain SFCe merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 hp selama 1 jam. SFCe berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar ( $F_c$ ) dan berbanding terbalik dengan daya efektif yang dihasilkan ( $N_e$ ), semakin besar daya efektif maka SFCe yang dihasilkan semakin kecil.

Sementara itu pada gambar 4.5 hingga 4.6 setiap rasio kompresi memberikan nilai SFCe berbeda-beda dari kedua bahan bakar. Untuk nilai SFCe pada masing-masing rasio kompresi dengan perbandingan variasi bahan bakar diperoleh pada bahan bakar *gasoline*

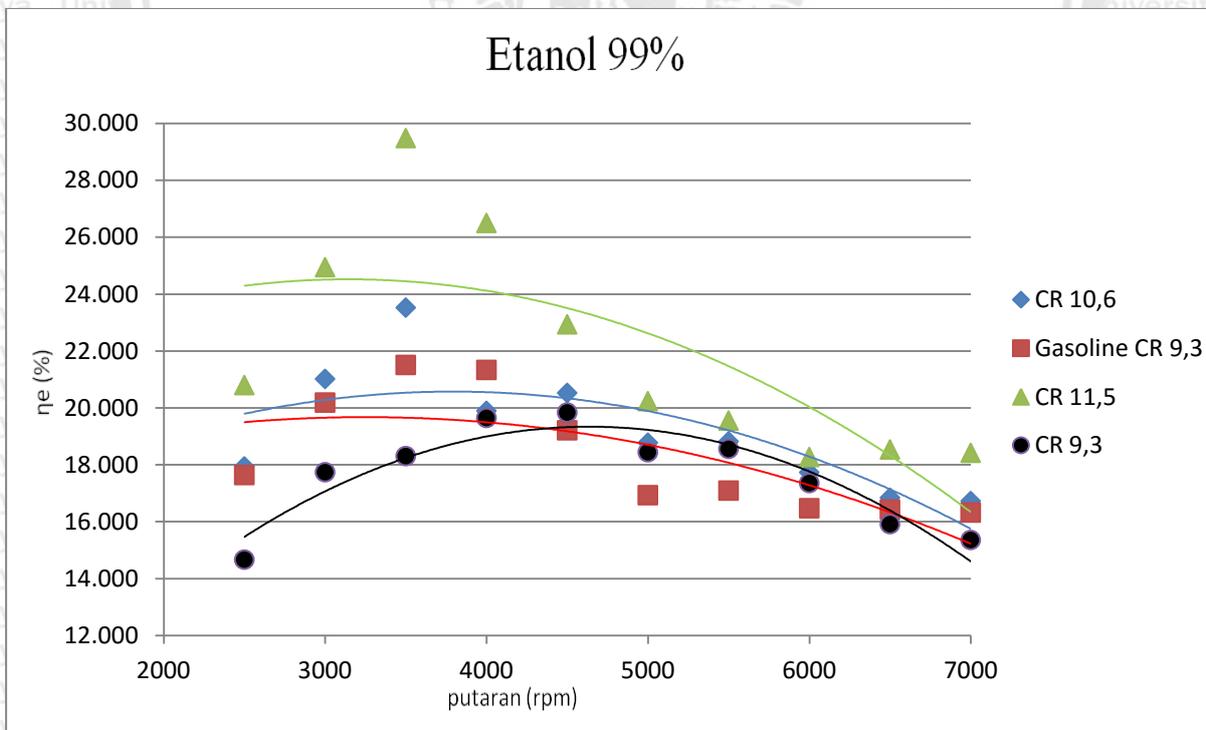
dengan hasil terbaik sebesar 0,280 kg/PS.Jam pada putaran 3500 rpm. Kemudian bahan bakar etanol 99% diperoleh hasil sebesar 0,333 kg/PS.Jam dengan rasio kompresi 11,5 : 1 pada putaran 3500 rpm, sedangkan pada bahan bakar etanol 96% diperoleh hasil terbaik sebesar 0,378 kg/PS, pada putaran dan rasio kompresi yang sama. Hal tersebut dikarenakan pada rasio kompresi 9,3:1 diperlukan putaran mesin yang lebih tinggi untuk dapat menghasilkan nilai torsi tertinggi, sehingga memiliki nilai SFCE terbaik pada putaran mesin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan variasi rasio kompresi 10,6 dan 11,5 berbahan bakar etanol yang memiliki nilai SFCE terbaik pada putaran mesin yang sama dengan rasio kompresi 9,3:1 berbahan bakar *gasoline*.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa peningkatan rasio kompresi dapat memberikan SFCE lebih baik akan tetapi dengan penggunaan etanol dengan rasio kompresi tetap menyebabkan SFCE meningkat dikarenakan daya efektif yang dihasilkan menurun. Hal tersebut dapat terlihat pada grafik 4.5 dan 4.6 yang menunjukkan bahwa nilai SFCE mesin *otto* menggunakan bahan bakar etanol 99% lebih baik dibandingkan dengan etanol 96% karena nilai daya efektif yang lebih tinggi. Hal tersebut membuktikan bahwa meningkatnya rasio kompresi berdampak peningkatan temperatur silinder yang menyebabkan bahan bakar lebih cepat terbakar dari gambar 4.5 sampai 4.6 diatas menjelaskan bahwa peningkatan rasio kompresi dengan penggunaan bahan bakar etanol dapat meningkatkan SFCE sebesar 1,8-33,4% dibandingkan variasi rasio kompresi lain dengan menggunakan bahan bakar etanol 96% ataupun 99%. Namun cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan *gasoline*.

#### 4.2.4 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Efisiensi Termal Efektif



Gambar 4.7 Hubungan putaran terhadap efisiensi termal efektif dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 96%.



Gambar 4.8 Hubungan putaran terhadap efisiensi termal efektif dengan variasi rasio kompresi menggunakan bahan bakar etanol 99%.

Pada gambar 4.7 hingga 4.8 dapat dilihat hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada tiap variasi rasio kompresi adalah ketika pada putaran yang rendah efisiensi termal efektif cenderung naik tetapi seiring dengan bertambahnya putaran, nilai efisiensi termal efektifnya cenderung turun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif sendiri dipengaruhi oleh nilai *fuel consumption*, daya efektif dan juga nilai kalor bahan bakar. Sesuai pembahasan pada grafik perbandingan putaran dengan daya efektif bahwa ketika rpm rendah nilai daya efektif awalnya naik sampai pada nilai tertentu kemudian nilai daya efektif kemudian turun.

Ketika nilai konsumsi bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar tetap maka nilai daya efektif sangat berpengaruh pada nilai efisiensi termal efektif. Ketika semakin besar daya efektif maka nilai efisiensi termal efektif juga meningkat. Oleh karena itu pada nilai rpm rendah yang memiliki daya efektif cenderung naik, nilai efisiensi termal efektif juga akan naik dan pada nilai rpm tinggi yang daya efektifnya cenderung turun nilai efisiensi termal efektifnya juga cenderung akan menurun. Persamaan di atas juga memperlihatkan bahwa nilai SFCE akan berbanding terbalik terhadap efisiensi termal efektif dan besar atau kecilnya efisiensi termal tergantung pada nilai SFCE.

Pada kedua gambar tersebut bahwa pada bahan bakar etanol memiliki efisiensi thermal efektif yang tinggi dengan penggunaan bahan bakar etanol 99% dengan peningkatan rasio kompresi mesin dapat meingkatkan efisiensi thermal efektif disebabkan karakteristik bahan bakar etanol membutuhkan temperatur tinggi untuk dapat terbakar memiliki nilai sebesar 29,434% pada rasio kompresi 11,5 : 1 dengan putaran 3500 rpm. Selanjutnya pada bahan bakar etanol 96%, diperoleh hasil terbaik pada putaran 3500 rpm, yaitu 25,961% dengan rasio kompresi yang sama yakni 11,5 : 1.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa meningkatnya rasio kompresi dapat menaikkan daya efektif mesin yang menyebabkan efisiensi thermal efektif meningkat. Dikarenakan ketika peningkatan rasio kompresi tekanan dan temperatur silinder meningkat menyebabkan proses pembakaran berlangsung cepat sehingga tekanan hasil proses pembakaran dan efiseinsi volumetris meningkat, tetapi dengan penggunaan etanol menyebabkan efisiensi menurun dikarenakan etanol memiliki nilai LHV yang rendah sehingga untuk memperoleh putaran yang sama diperlukan kalor yang semakin banyak sehingga berdampak pada penggunaan bahan bakar yang lebih banyak dan daya yang dihasilkan lebih rendah. Sehingga dapat disimpulkan dari grafik 4.7-4.8 bahwa peningkatan rasio kompresi dengan penggunaan bahan bakar etanol dapat meningkatkan

efisiensi termal efektif sebesar 11,9-34% dibandingkan variasi rasio kompresi lain dengan menggunakan bahan bakar etanol 96% ataupun 99%.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan data akan didapatkan suatu kesimpulan, yaitu : Dengan memvariasikan rasio kompresi pada mesin *otto* 4 langkah sistem injeksi berbahan bakar etanol dapat meningkatkan kinerja dari mesin seperti nilai torsi, daya efektif, SFCe dan efisiensi termal efektif. Pada variasi rasio kompresi tertinggi sebesar 11.5 : 1 dengan menggunakan bahan bakar etanol 99% mendapatkan torsi tertinggi sebesar 0.381 kg·m pada putaran 4000 dan lebih besar 0,7-6.5% dari variasi rasio kompresi lainnya dengan menggunakan bahan bakar etanol 96% maupun 99%. Nilai daya efektif maksimal pada rasio kompresi 11.5 : 1 dengan menggunakan bahan bakar etanol 99% sebesar 2,894 PS pada putaran 7000 rpm, lebih besar 1.7- 9.6% jika dibandingkan dengan daya efektif pada variasi rasio kompresi lainnya dengan bahan bakar etanol 96% maupun 99%. SFCe minimal pada rasio kompresi 11.5 : 1 dengan 0.371 kg/Ps·jam pada putaran 4000 rpm, lebih kecil 1,8-33,42% jika dibandingkan dengan SFCe maksimal lain pada variasi rasio kompresi berbeda dengan bahan bakar etanol 96% maupun 99%. Titik SFCe terendah diraih pada rpm yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar *gasoline*. Efisiensi termal maksimal pada rasio kompresi 11.5 : 1 sebesar 29.48 % pada putaran 3500 rpm, lebih besar 11,9-34% jika dibandingkan dengan efisiensi termal maksimal pada variasi rasio kompresi lainnya.

### 5.2 Saran

1. Penelitian yang berlanjut dibutuhkan pula untuk mengetahui pengaruh variasi rasio kompresi yang lebih tinggi agar dapat menghasilkan nilai torsi dan daya efektif yang lebih besar dengan menggunakan bahan bakar etanol.
2. Untuk mendapatkan kinerja yang lebih bagus lagi dalam penggunaan etanol sebagai bahan bakar perlu adanya perubahan settingan pada motor selain rasio kompresi, yaitu seperti perubahan settingan yang lebih sesuai pada *ignition timing* dan *Air Fuel Ratio* (AFR) dengan menggunakan bahan bakar etanol.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agrariska, Fintas A dan Nugroho, Wahyunanto A. 2013. *Uji Performansi Motor Bakar Bensin (On Chassis) Menggunakan Campuran Premium dan Etanol*. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya: Malang.
- Amit K. and Ajay K, 2016. *Progress in Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine*. Institute of Technology : Uttarakhand, India
- Anugra, Kiagus Roby.2014. *Kajian tentang Perbandingan Premium-Ethanol dengan Pertamina pada Motor 4 Langkah 225 cc*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Yogyakarta.
- Arismunandar, Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Bonnick, A. 2011. *A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance* Butterworth-Heinemann: Amsterdam.
- Çengel Y. A and Boles M. A, 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed*, McGraw-Hill.
- Faiz, Asif and Weaver C. S. 1996. *Air Pollution from Motor Vehicles Standards and Technologies for Controlling Emissions*. The World Bank: Washington.
- Fatimah, Siti Soja, 1994. *Industri Minyak Bumi*. Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia : Bandung.
- Ginting F. 2014. *Pengaruh Campuran Gasoline-Ethanol (Gasohol) Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah Sistem Injeksi..* Teknik Mesin Universitas Brawijaya: Malang.
- Handayani, Sri Utami, 2009. *Pemanfaatan Bio Ethanol sebagai Bahan Bakar Pengganti Bensin*. Diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro: Semarang.
- Kurniawan, A. 2014. *Analisa Penggunaan Bahan Bakar Bioetanol dari Batang Padi sebagai Campuran pada Bensin*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Kustoro.2012. *Sistem kontrol elektronik Pada Honda Supra X 125 PGM-FI. Tugas Akhir*. Tidak Dipublikasikan. Teknik Mesin D III. Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Muhtadi M. *Pengaruh Berbagai Macam Campuran antara Ethanol Absolute dan Premium Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Vario*. Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya: Surabaya
- Nababan, Hotland M, Himsar A dan Tulus B. 2013. *Studi Kinerja Mesin Otto menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Etanol 96%*, Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara: Medan.

- Pulkrabek, Williard W. 1997. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall: New Jersey.
- Soenarta, Nakoela dan Shoichi Furuhamu. 2002. *Motor Serba Guna*. Paradnya Paramita: Jakarta.
- Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*: PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press, Malang.
- Winarno, Joko. 2011. *Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin*. Teknik Mesin Universitas Jamabadra: Yogyakarta.
- Xiaochen W and Zhenbin C, 2015. *The Effects o Hydrous Ethanol Gasoline on Combustion and Emission Characteristics of A Port Injection Gasoline Engine*. School of Automobile : Shanghai, China.
- Yusri I.M, Najafi G and Mamat R, 2016. *Alcohol Based Automotive Fuel from First Four Alcohol Family in Compression and Spark Ignition Engine: A Riview on Engine Performance and Exhaust Emissions*. School of Manufacturing Engineering : Kangar, Malaysia.



Lampiran 1. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan

GASOLINE													
Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/detik)		v udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/PSjam)	ηe (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.7	5.70	0.123	0.121	2.8	2.815	0.329	1.150	0.392	0.341	17.637	4119.24	3.22932
	5.7		0.119		2.83								
3000	5.93	5.93	0.132	0.132	3.18	3.19	0.343	1.435	0.428	0.298	20.184	4493.72	3.35963
	5.93		0.132		3.2								
3500	6.72	6.77	0.164	0.165	3.5	3.525	0.391	1.911	0.535	0.280	21.506	5617.15	3.83553
	6.82		0.166		3.55								
4000	6.7	6.73	0.189	0.189	4.2	4.265	0.389	2.172	0.612	0.282	21.331	6434.19	3.81287
	6.76		0.189		4.33								
4500	6.67	6.67	0.236	0.234	4.34	4.35	0.385	2.421	0.758	0.313	19.210	7966.14	3.77887
	6.67		0.232		4.36								
5000	6.35	6.33	0.280	0.280	4.72	4.66	0.366	2.553	0.907	0.355	16.928	9532.13	3.58625
	6.31		0.280		4.6								
5500	6.1	6.1	0.297	0.294	5.32	5.22	0.352	2.706	0.953	0.352	17.090	10008.74	3.45594
	6.1		0.291		5.12								
6000	5.7	5.7	0.311	0.311	5.89	5.905	0.329	2.759	1.008	0.365	16.469	10587.48	3.22932
	5.7		0.311		5.92								
6500	5.6	5.5	0.329	0.326	6.43	6.375	0.318	2.884	1.056	0.366	16.423	11098.12	3.11601
	5.4		0.323		6.32								
7000	5.23	5.23	0.338	0.336	6.97	6.925	0.302	2.953	1.089	0.369	16.318	11438.56	2.96305
	5.23		0.334		6.88								

VARIASI KOMPRESI 9.3 E96															
Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		v udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/PSjam)	ηe (%)	Qb	Data sebelum	T (Nm)	
2500	5.435	5.433	9.721	0.257	2.42	2.475	0.314	1.096	0.729	0.665	14.766	4689.68	0.25667	0.015	3.08
	5.432		9.917		2.53										
3000	5.735	5.733	11.098	0.290	2.96	2.915	0.331	1.387	0.824	0.594	16.548	5298.73	0.29000	0.017	3.25
	5.732		11.885		2.87										
3500	5.967	5.967	12.475	0.317	3.36	3.295	0.345	1.685	0.899	0.534	18.402	5785.97	0.31667	0.019	3.38
	5.967		12.671		3.23										
4000	6.169	6.167	14.049	0.390	3.76	3.825	0.356	1.990	1.108	0.557	17.649	7125.88	0.39000	0.023	3.49
	6.165		13.655		3.89										
4500	6.267	6.267	14.835	0.430	4.16	4.095	0.362	2.275	1.221	0.537	18.300	7856.74	0.43000	0.026	3.55
	6.267		15.032		4.03										
5000	5.92	5.9	16.212	0.440	4.66	4.655	0.341	2.380	1.250	0.525	18.708	8039.46	0.44000	0.026	3.34
	5.88		16.803		4.65										
5500	5.767	5.767	19.360	0.492	5.32	5.22	0.333	2.559	1.397	0.546	18.001	8983.49	0.49167	0.030	3.27
	5.767		18.967		5.12										
6000	5.535	5.533	19.950	0.583	5.24	5.335	0.320	2.678	1.657	0.619	15.880	10658.37	0.58333	0.035	3.13
	5.531		19.557		5.43										
6500	5.2	5.1	20.540	0.582	5.67	5.82	0.295	2.674	1.652	0.618	15.902	10627.92	0.58167	0.035	2.89
	4.9		20.934		5.97										
7000	4.9	4.9	23.294	0.663	6.32	6.435	0.283	2.767	1.884	0.681	14.428	12120.09	0.66333	0.040	2.78
	4.9		22.704		6.55										



VARIASI KOMPRESI 9.3 E99

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.37	5.36	9.131	0.255	2.43	2.6	0.310	1.081	0.724	0.670	14.663	4659.23	3.03670
	5.35		9.327		2.77								
3000	5.55	5.53	11.098	0.261	2.95	3.07	0.319	1.338	0.741	0.554	17.736	4768.86	3.13301
	5.51		10.508		3.19								
3500	5.66	5.66	12.081	0.302	3.33	3.49	0.327	1.598	0.858	0.537	18.303	5517.99	3.20666
	5.66		12.475		3.65								
4000	6.16	6.16	13.065	0.350	3.87	3.755	0.356	1.988	0.994	0.500	19.644	6395.02	3.48994
	6.16		13.262		3.64								
4500	5.57	5.56	14.245	0.352	4.02	4.115	0.321	2.018	1.000	0.495	19.833	6431.57	3.15001
	5.57		14.049		4.21								
5000	5.63	5.63	15.622	0.426	4.56	4.495	0.325	2.271	1.210	0.533	18.438	7783.66	3.18966
	5.63		15.229		4.43								
5500	5.27	5.26	17.393	0.435	4.96	5.03	0.304	2.334	1.236	0.529	18.557	7948.10	2.98004
	5.25		17.983		5.1								
6000	5.1	5.1	18.376	0.492	5.46	5.505	0.295	2.468	1.397	0.566	17.354	8989.58	2.88939
	5.1		18.770		5.55								
6500	4.88	4.86	19.557	0.554	5.89	5.925	0.281	2.548	1.574	0.617	15.911	10122.41	2.75342
	4.84		20.934		5.96								
7000	4.63	4.63	21.327	0.589	6.38	6.305	0.268	2.615	1.673	0.640	15.354	10761.91	2.62312
	4.63		21.721		6.23								

VARIASI KOMPRESI 10,6 E96

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.3	5.45	0.200	0.198	2.54	2.605	0.315	1.099	0.562	0.512	19.201	3617.76	3.08769
	5.6		0.196		2.67								
3000	5.6	5.675	0.206	0.212	3.11	3.045	0.328	1.373	0.601	0.437	22.461	3864.42	3.21516
	5.75		0.217		2.98								
3500	5.9	6	0.256	0.250	3.76	3.71	0.347	1.694	0.709	0.418	23.486	4558.74	3.39929
	6.1		0.243		3.66								
4000	6.2	6.25	0.285	0.309	4.11	3.98	0.361	2.017	0.878	0.435	22.575	5645.89	3.54092
	6.3		0.333		3.85								
4500	6.3	6.35	0.312	0.331	4.08	4.1	0.367	2.305	0.940	0.408	24.089	6047.87	3.59758
	6.4		0.350		4.12								
5000	6.3	6.1	0.384	0.384	4.32	4.38	0.352	2.460	1.091	0.443	22.163	7016.26	3.45594
	5.9		0.384		4.44								
5500	5.9	5.8	0.420	0.429	4.87	4.95	0.335	2.573	1.219	0.474	20.749	7838.47	3.28598
	5.7		0.438		5.03								
6000	5.4	5.475	0.456	0.453	5.45	5.44	0.316	2.650	1.287	0.486	20.234	8276.99	3.10185
	5.55		0.450		5.43								
6500	5.3	5.2	0.486	0.492	5.89	5.97	0.300	2.727	1.397	0.513	19.169	8989.58	2.94605
	5.1		0.498		6.05								
7000	4.8	4.875	0.526	0.516	6.34	6.285	0.282	2.753	1.464	0.532	18.471	9418.96	2.76192
	4.95		0.505		6.23								



VARIASI KOMPRESI 10.6 E99

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.5	5.4	0.208	0.210	2.56	2.66	0.312	1.089	0.596	0.548	17.938	3837.01	3.05936
	5.3		0.212		2.76								
3000	6.1	6	0.232	0.239	2.96	3.06	0.347	1.452	0.679	0.468	21.015	4366.89	3.39929
	5.9		0.246		3.16								
3500	6.4	6.25	0.256	0.260	3.36	3.46	0.361	1.765	0.737	0.418	23.521	4741.45	3.54092
	6.1		0.263		3.56								
4000	6.4	6.425	0.357	0.361	3.76	3.86	0.371	2.073	1.024	0.494	19.892	6586.87	3.64007
	6.45		0.364		3.96								
4500	6.3	6.35	0.389	0.389	4.16	4.26	0.367	2.305	1.103	0.479	20.523	7098.48	3.59758
	6.4		0.388		4.36								
5000	6.1	6.075	0.445	0.452	4.56	4.66	0.351	2.450	1.282	0.523	18.772	8249.58	3.44178
	6.05		0.458		4.76								
5500	5.8	5.8	0.468	0.473	4.96	5.06	0.335	2.573	1.344	0.522	18.818	8642.42	3.28598
	5.8		0.478		5.16								
6000	5.35	5.375	0.510	0.508	5.36	5.46	0.311	2.602	1.442	0.554	17.732	9272.79	3.04519
	5.4		0.505		5.56								
6500	5.2	5.25	0.555	0.566	6.02	5.99	0.303	2.753	1.606	0.583	16.838	10332.53	2.97438
	5.3		0.576		5.96								
7000	4.95	5.025	0.586	0.587	6.47	6.555	0.290	2.838	1.667	0.588	16.721	10725.37	2.84690
	5.1		0.588		6.64								

VARIASI KOMPRESI 11.5 E96

Putaran (rpm)	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)		T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Psjam)	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)
2500	5.7	5.6	0.174	0.179	2.47	2.58	0.324	1.129	0.507	0.449	21.885	3261.46	3.17267
	5.5		0.183		2.69								
3000	5.9	5.825	0.185	0.188	2.91	3.02	0.337	1.410	0.534	0.379	25.937	3435.04	3.30014
	5.75		0.191		3.13								
3500	6.2	6.3	0.238	0.237	3.35	3.46	0.364	1.779	0.673	0.378	25.961	4330.34	3.56925
	6.4		0.236		3.57								
4000	6.6	6.45	0.277	0.279	3.79	3.9	0.373	2.081	0.792	0.381	25.803	5097.75	3.65423
	6.3		0.281		4.01								
4500	6.6	6.55	0.344	0.346	4.23	4.34	0.378	2.378	0.983	0.413	23.770	6321.94	3.71089
	6.5		0.348		4.45								
5000	6.3	6.25	0.371	0.374	4.67	4.78	0.361	2.521	1.061	0.421	23.346	6824.40	3.54092
	6.2		0.376		4.89								
5500	5.9	5.875	0.420	0.418	5.11	5.22	0.339	2.607	1.186	0.455	21.596	7628.35	3.32847
	5.85		0.415		5.33								
6000	5.5	5.55	0.440	0.445	5.55	5.66	0.321	2.686	1.264	0.471	20.880	8130.82	3.14434
	5.6		0.450		5.77								
6500	5.3	5.275	0.488	0.492	5.99	6.1	0.305	2.766	1.397	0.505	19.446	8989.58	2.98854
	5.25		0.496		6.21								
7000	4.8	4.975	0.531	0.528	6.43	6.54	0.287	2.809	1.500	0.534	18.404	9647.35	2.81858
	5.15		0.525		6.65								



VARIASI KOMPRESI 11,5 E99

Putaran	F (kg)		Q (ml/s)		$v$ udara (m/s)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC	SFCe	$\eta_e$ (%)	Qb	T (Nm)	
2500	5.6	5.65	0.196	0.190	2.52	2.67	0.326	1.139	0.538	0.472	20.799	3462.45	3.20100
	5.7		0.183		2.82								
3000	5.9	5.9	0.201	0.198	3.02	3.06	0.341	1.428	0.562	0.394	24.944	3617.76	3.34263
	5.9		0.195		3.1								
3500	6.4	6.4	0.203	0.212	3.6	3.58	0.370	1.807	0.602	0.333	29.483	3873.56	3.62591
	6.4		0.221		3.56								
4000	6.6	6.6	0.283	0.278	4.1	4.17	0.381	2.130	0.790	0.371	26.498	5079.48	3.73922
	6.6		0.273		4.24								
4500	6.6	6.475	0.351	0.355	4.34	4.35	0.374	2.351	1.007	0.428	22.935	6477.25	3.66840
	6.35		0.358		4.36								
5000	6.2	6.2	0.434	0.428	4.76	4.87	0.358	2.501	1.214	0.486	20.234	7811.07	3.51260
	6.2		0.421		4.98								
5500	6.1	5.975	0.475	0.469	5.32	5.22	0.345	2.651	1.332	0.503	19.552	8569.33	3.38512
	5.85		0.463		5.12								
6000	5.35	5.5	0.510	0.504	5.89	5.905	0.318	2.662	1.432	0.538	18.270	9208.83	3.11601
	5.65		0.498		5.92								
6500	5.4	5.35	0.526	0.524	6.43	6.375	0.309	2.805	1.487	0.530	18.535	9565.13	3.03103
	5.3		0.521		6.32								
7000	5.1	5.125	0.555	0.544	6.97	6.925	0.296	2.894	1.544	0.533	18.418	9930.56	2.90356
	5.15		0.532		6.88								



**Lampiran 2 .Perhitungan Rasio Kompresi**

Diketahui :

*Bore x Stroke* Supra x 125 = 52,4 mm x 57,9 mm

Rasio Kompresi = 9,3 : 1

$$\begin{aligned} \text{Volume Cylinder} &= \frac{3,14 \times \text{Bore}^2 \times \text{Stroke}}{4} \\ &= \frac{3,14 \times 52,4 \times 52,4 \times 57,9}{4} \\ &= 124,8 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dicari:

1. Vs1?

$$RK1 = \frac{Vt1 + Vs1}{Vs1}$$

Keterangan : Vs1 = Volum sisa variasi 1

$$9,3 = \frac{124,8 + Vs1}{Vs1}$$

Vt1 = Volum total variasi 1

$$8,3 Vs1 = 124,8$$

RK1 = Rasio kompresi variasi 1

$$Vs1 = 15,03 \text{ mm}^3$$

2. Variasi kedua?

Keterangan : 1. Setelah dilakukan pengukuran, volume *head cylinder* sebesar 10,5 mm<sup>3</sup>

2. Vs2 setelah dikurangi ketebalan gasket memiliki nilai sebesar 13 mm<sup>3</sup>

$$RK2 = \frac{Vt2 + Vs2}{Vs2}$$

$$= \frac{124,8 + 13}{13}$$

$$= 10,6$$

3. Variasi Ketiga?

Keterangan : Vs3 setelah memiliki nilai sebesar 11,8

$$RK3 = \frac{Vt3 + Vs3}{Vs3}$$

$$= \frac{124,8 + 11,8}{11,8}$$

$$= 11,5$$

Sehingga variasi 1,2, dan 3 memiliki nilai rasio kompresi sebesar 9,3;1, 10,6;1, dan 11,5 :1

