

RE-MAPPING ENGINE CONTROL UNIT (ECU) UNTUK MENAIKKAN UNJUK KERJA MESIN SEPEDA MOTOR

Muji Setiyo^{1,*}, Leo Utoro²

¹Program Studi Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Mayjend Bambang Soegeng Km.05 Mertoyudan Magelang, Telp/ Fax: 0293-326945

²KSS Motorsport
Kalikuto, Grabag, Magelang, 56196

*E-mail : setiyo.muji@ummgl.ac.id

Diterima: 17-07-2017

Direvisi: 01-11-2017

Disetujui: 01-12-2017

ABSTRAK

Sepeda motor untuk keperluan kompetisi memerlukan pengaturan pengapian yang tepat untuk menghasilkan unjuk kerja yang paling optimum. Untuk itu, artikel ini menyajikan salah teknik pemetaan ulang (*re-mapping*) pada *Electronic Control Unit (ECU) Stand Alone* yang diaplikasikan pada sepeda motor 130 cc injeksi untuk keperluan kompetisi. Kegiatan *re-mapping* ini bertujuan untuk menghasilkan *output* torsi dan daya terbaik. Metode yang digunakan adalah dengan mengkombinasikan empat mapping bahan bakar dan dua mapping pengapian yang diuji dengan model *full factorial design*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *lean combustion* dan *advanced ignition timing* mampu menghasilkan torsi optimum 11,57 Nm dan daya optimum 19,6 hp.

Kata kunci: ECU, *Re-mapping*, Torsi, Daya

ABSTRACT

Motorcycles for competitive purposes require a proper adjustment of ignition to produce the most optimum performance. For this reason, this article presents one of re-mapping technique on the Stand Alone Electronic Control Unit (ECU) applied to 130 cc motorcycle injection for competition purposes. This re-mapping activity aims to produce the best torque and power output. The method used by combining four fuel mappings and two ignition mappings tested with the full factorial design. The results showed that lean combustion and advanced ignition timing were able to produce the optimum torque of 11.57 Nm and optimum power of 19.6 hp.

Keywords: ECU, *Re-mapping*, Torque, Power

PENDAHULUAN

Sistem bahan bakar tipe injeksi merupakan langkah inovasi yang sedang dan terus dikembangkan untuk diterapkan pada sepeda motor. Tipe injeksi sebenarnya sudah mulai diterapkan pada sepeda motor dalam jumlah terbatas pada tahun 1980-an, dimulai dari sistem injeksi mekanis kemudian berkembang menjadi sistem injeksi elektronis. Sistem injeksi mekanis disebut juga sistem injeksi kontinyu (*K-Jetronic*) karena injektor menyemprotkan secara terus menerus ke setiap saluran masuk (*intake manifold*). Sedangkan sistem injeksi elektronis atau yang lebih dikenal dengan *Electronic Fuel*

Injection (EFI), volume dan waktu penyemprotannya dilakukan secara elektronik. Sistem EFI kadang disebut juga dengan EGI (*Electronic Gasoline Injection*), EPI (*Electronic Petrol Injection*), dan PGM-FI (*Programmed Fuel Injection*) [1], [2].

Teknologi injeksi memasukkan bahan bakar ke dalam ruang bakar sesuai perintah dari *Engine control Unit (ECU)* yang mendapatkan informasi kebutuhan dan keadaan mesin secara aktual dari sensor-sensor. Kemampuan teknologi ini memungkinkan untuk membuat campuran bahan bakar yang ideal sehingga dapat menekan emisi CO, HC, dan NO_x dari hasil pembakaran.

Pada mesin dengan sistem injeksi bahan bakar, pengontrolan debit bahan bakar dilakukan berdasarkan parameter beban dan kecepatan mesin untuk setiap siklus, sehingga memungkinkan pencampuran udara-bahan bakar dapat lebih tepat dan homogen [3].

Namun demikian, untuk keperluan balap kompetisi, ECU standar tidak mampu mengakomodir keperluan mesin berperforma tinggi [4]. Untuk keperluan balap kompetisi, kapasitas mesin diperbesar, tekanan kompresi ditingkatkan, durasi pembukaan katup diperlebar, dan pembesaran serta perbaikan *inlet port* dan *exhaust port* termasuk penggantian pipa knalpot. Pada beberapa kasus, perubahan pembukaan katup juga perlu dilakukan untuk memperoleh torsi yang diinginkan [5]. Spesifikasi yang lebih tinggi dari standar buatan pabrik tersebut membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dan sudut pengapian yang lebih maju. Puncak power (*peak power*) dan puncak torsi (*peak torque*) tentunya bergeser ke putaran mesin yang lebih tinggi dari standar untuk pencapaian perolehan tenaga mesin yang lebih luas.

ECU *Stand alone* adalah ECU yang mampu diprogram ulang untuk memenuhi kebutuhan mesin kompetisi atau mesin standar yang telah dimodifikasi. Peta durasi dan waktu penginjeksian bahan bakar serta pengapian dapat diatur ulang sampai diperoleh performa terbaik. Pemetaan ini disebut *re-mapping* atau memetakan kembali informasi dan data yang sudah ada sebelumnya. Fitur dan kemampuan ECU *Stand Alone* berbeda-beda sesuai dengan tingkat perangkat *hardware* dan *software* yang mendukungnya.

Re-mapping dapat dilakukan secara menyeluruh atau hanya perbagian sampai detail setiap 250 rpm atau tergantung dari fitur ECU *Stand Alone* yang digunakan. Perubahan *mapping* pada ECU untuk mengkoreksi banyaknya bahan bakar dan waktu pengapian akan menghasilkan karakter mesin yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Untuk menghindari kerusakan mesin akibat katup terlambat kembali setelah membuka (*floating*) pada saat putaran mesin terlalu tinggi maka ECU *Stand Alone* dapat diatur dengan memberikan *limit* putaran dengan menghentikan letikan bunga api atau penghentian sementara bahan bakar yang diinjeksikan (*fuel cut*).

Untuk mendapatkan tenaga maksimal, *Air Fuel Ratio* (AFR) harus pada 12,6-12,8 : 1 . Sebagai catatan, nilai ini akan menjadi sedikit berbeda untuk aplikasi yang berbeda. Beberapa mesin seperti beroperasi dengan campuran yang sedikit lebih kurus (*lean*), ketika mesin lain memiliki campuran lebih kaya untuk memproduksi tenaga. Tanpa menggunakan dinamometer dan oksigen sensor untuk menemukan nilai yang ideal akan menjadi sulit. Namun nilai AFR 12.6-12,8 : 1 akan menjadi patokan yang baik untuk memulai *mapping* baru [6].

Untuk itu, artikel ini menyajikan pengujian beberapa pola *mapping* ECU *Stand Alone* untuk mesin 130 cc *tune up* sehingga dicapai output mesin yang paling optimum.

METODE PENELITIAN

Material

Sepeda motor yang diuji dalam penelitian ini adalah mesin cup 130 cc dengan spesifikasi yang disajikan dalam Tabel 1. Sementara, spesifikasi dan visualisasi ECU disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 1 secara berurutan.

Tabel 1. Spesifikasi mesin

Uraian	Spesifikasi
Tipe mesin	: 4 langkah, SOHC
<i>Bore x stroke</i>	: 59 mm x 47,2 mm
Volume mesin	: 129,0 cc
Rasio kompresi	: 12.5 :1
Diameter katup	: in 28 mm / ex 24mm
<i>Intake open/close</i>	: 34 °BTDC / 58 °ABDC
<i>Exhaust open/close</i>	: 58 °BTDC / 34 °ATDC
<i>Valve lifter</i>	: in 9.2 mm, ex 9.3 mm
Gigi transmisi	: 5 kecepatan
<i>Throttle body</i>	: Keihin butterfly 30 mm
<i>Injector</i>	: Keihin stock Honda CB150R
<i>MAPS, IATS, & TPS</i>	: Keihin stock Honda CB150R
<i>Fuel pump</i>	: Mitshuba stock Honda CB150R

Tabel 2. Spesifikasi ECU Stand Alone BRT Juken

Uraian	Spesifikasi
<i>Mechanical</i>	1) <i>Case</i> : ABS (<i>Color Painting</i>) 2) <i>Connector</i> : PBT 3) <i>Adhesive</i> : Epoxy
<i>Electrical</i>	1) <i>MCU</i> : DUO, 12 MHz, <i>LPC Series</i> , NXP <i>Founded by Philips semiconductor</i> 2) <i>PCB</i> : FR4, 4 <i>Layer Printed</i> 3) <i>Tine</i> : <i>Lead Free</i> 4) <i>Ignition (TIS)</i> : IGBT 400 V (<i>Max</i>), <i>Load 5 Ampere (Max)</i> 5) <i>Voltage</i> : 14.0 - 15.5 Vdc
<i>Power Consumption</i>	1) <i>Idle Current</i> : 2.3 A 2) <i>Rush Current</i> : 2.6 A (@ 10.000 rpm)
<i>Load Maximum</i>	1) <i>Pressured Pump</i> : 1.25 A. 2) <i>Fuel Injector</i> : 0.55 A. 3) <i>Auto Choke</i> : 0.35 A. 4) <i>Ignition Coil</i> : 0.25 A. 5) <i>Stand by Mode</i> : 0.60 A.
<i>Software</i>	1) <i>Injection</i> : -100 s.d 100 , <i>Resolusi 1%</i> 2) <i>Throttle</i> : 0 s.d 100 % , <i>Resolusi 5%</i> 3) <i>Revolution Limit</i> : 5000 s.d 20.000 RPM, <i>Resolusi 100 RPM</i> 4) <i>Ignition</i> : 3 <i>Dimensi</i> , <i>Resolusi 0.5%</i> 5) <i>Injector Timing</i> : 0 s.d 720%
<i>Monitor Calibration</i>	: AFR, TPS dan RPM : TPS (<i>Throttle Position Sensor</i>)

**Gambar 1.** ECU BRT Juken

Desain Eksperimen

Pola (*pattern*) yang diterapkan pada ECU *stand alone* adalah 4 *mapping* bahan bakar dan 2 *mapping* pengapian. Dengan demikian, dilaksanakan 8 kali pengujian pada *dynamometer* dengan konfigurasi pola yang disajikan dalam Tabel 3 sampai Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 3. Pola injeksi bahan bakar A

RPM	TPS (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1000	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
1500	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2000	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2500	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
3000	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
3500	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
4000	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
4500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
9000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
9500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
10000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
10500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
12000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
12500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
14000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabel 4. Pola injeksi bahan bakar B

		TPS (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
RPM	1000	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	1500	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	2000	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	2500	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	3000	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	3500	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	4000	0	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	4500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	5000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	5500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	6000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	6500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	7000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	7500	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	8000	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	8500	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	9000	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	9500	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	10000	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	10500	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
11000	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
11500	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
12000	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
12500	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
13000	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
13500	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
14000	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	

Tabel 6. Pola injeksi bahan bakar D

		TPS (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
RPM	1000	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	1500	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	2000	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	2500	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	3000	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	3500	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	4000	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
	4500	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	5000	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	5500	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	6000	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	6500	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	7000	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	7500	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	8000	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	8500	0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	9000	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
	9500	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
	10000	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
	10500	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
11000	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
11500	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
12000	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
12500	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
13000	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
13500	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
14000	0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	

Tabel 5. Pola injeksi bahan bakar C

		TPS (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
RPM	1000	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	1500	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	2000	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	2500	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	3000	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	3500	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	4000	0	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
	4500	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	5000	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	5500	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	6000	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	6500	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	7000	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	7500	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	8000	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	8500	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	9000	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
	9500	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
	10000	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
	10500	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
11000	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
11500	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
12000	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
12500	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
13000	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
13500	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
14000	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	

Tabel 7. Pola pengapian 1

		TPS (%)																				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
RPM	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2500	8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3000	15	10	13	13	15	15	14	12	12	12	13	13	12	12	11	11	10	9	8	10	10
	3500	20	17	20	20	20	20	19	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16	15	15	15	15
	4000	20	25	27	27	26	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19
	4500	20	30	33	32	31	30	30	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23
	5000	20	34	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	29	28	28	27	27	26	26	26
	5500	20	34	45	44	44	43	42	41	40	39	39	37	36	35	34	33	32	31	30	32	32
	6000	20	34	45	45	45	44	43	42	41	40	40	38	37	36	35	34	33	32	31	33	33
	6500	20	34	45	47	46	45	44	43	42	41	41	39	38	37	36	35	34	33	32	34	34
	7000	20	34	45	48	47	46	45	44	43	42	42	40	39	38	37	36	35	34	33	35	35
	7500	20	34	45	49	48	47	46	45	44	43	43	41	40	39	38	37	36	35	34	36	36
	8000	20	34	45	50	49	48	47	46	45	44	44	42	41	40	39	38	37	36	35	37	37
	8500	20	34	45	50	50	49	48	47	46	45	45	43	42	41	40	39	38	37	36	38	38
	9000	20	34	45	51	51	50	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	39	39
	9500	20	34	45	51	51	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	40	40
	10000	20	34	45	51	51	51	50	49	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	41	41
	10500	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	47	46	46	45	44	43	42	41	40	42	42
11000	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	42	41	40	39	38	37	37	36	38	38	
11500	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	37	37	
12000	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	37	37	
12500	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	37	37	
13000	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	37	37	
13500	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	37	37	
14000	20	34	45	51	51	51	50	49	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	37	37	

Tabel 8. Pola pengapian 2

		TPS (%)																				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
RPM	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2500	8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3000	15	10	13	13	15	15	14	12	12	12	13	13	12	12	11	11	10	9	8	10	10
	3500	20	17	20	20	20	20	19	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16	15	15	15	15
	4000	20	25	27	27	26	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19
	4500	20	30	33	32	31	30	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	23
	5000	20	34	34	35	36	37	36	35	33	32	31	30	29	29	28	28	27	27	26	25	24
	5500	20	34	34	35	37	38	37	36	40	39	39	37	36	35	34	33	32	31	30	30	30
	6000	20	34	34	35	38	39	38	37	37	36	35	34	33	32	31	33	33	32	31	31	31
	6500	20	34	34	36	39	40	39	38	38	37	36	35	34	33	32	34	34	32	32	32	32
	7000	20	34	34	37	40	41	40	39	39	38	37	36	35	34	33	35	35	33	33	33	33
	7500	20	34	34	48	41	43	41	40	40	39	38	37	36	35	34	36	36	35	34	34	34
	8000	20	34	34	39	43	44	42	41	41	40	39	38	37	36	35	37	37	36	35	35	35
	8500	20	34	34	40	44	45	43	42	42	41	40	39	38	37	36	38	38	35	35	34	34
	9000	20	34	34	40	44	45	44	42	43	42	41	40	39	38	37	39	39	33	33	33	33
	9500	20	34	34	41	44	45	44	42	44	43	42	41	40	39	38	40	40	30	30	30	30
	10000	20	34	34	41	44	45	44	42	45	44	43	42	41	40	39	41	41	29	29	29	28
	10500	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	28	28
11000	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	27	
11500	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	26	
12000	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	26	
12500	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	26	
13000	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	26	
13500	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	26	
14000	20	34	34	41	44	45	44	42	38	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28	27	26	

Kemudian, dari 4 pola bahan bakar dan 2 pola pengapian dari Tabel 3 sampai Tabel 8, dilakukan pengujian torsi dan daya dengan *full factorial design*. Pengambilan data sesuai dengan Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Desain pengambilan data

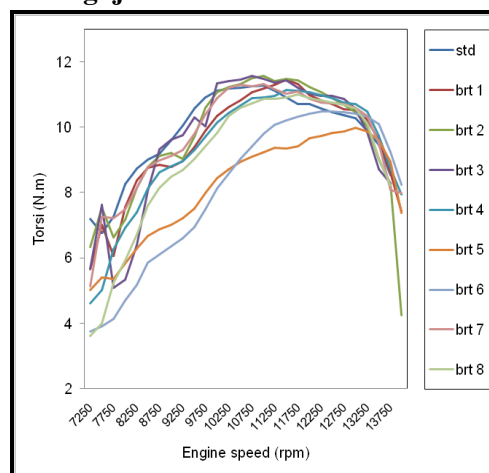
Pengujian ke	Kombinasi Pola	Pengujian ke	Kombinasi Pola
1	1 dan A (BRT 1)	5	2 dan A (BRT 5)
2	1 dan B (BRT 2)	6	2 dan B (BRT 6)
3	1 dan C (BRT 3)	7	2 dan C (BRT 7)
4	1 dan D (BRT 4)	8	2 dan D (BRT 8)

BRT: Bintang Racing Team

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian performa motor dilakukan dengan *sportdyno dynamometer V3.3* dengan *inertia roller* sebesar 1.446. Bahan bakar yang digunakan adalah Pertamina Plus produk Pertamina dengan nilai oktan 95. Suhu ruangan 30.3-30.5°C. Pengujian dilakukan pada posisi gigi 4 dan putaran mesin dari 7000 rpm hingga 14000 rpm.

Hasil Pengujian Torsi

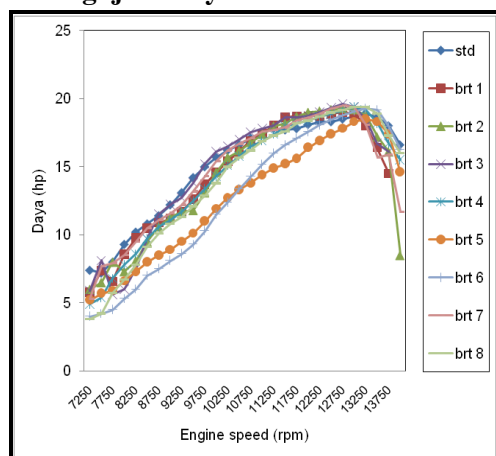


Gambar 2. Hasil uji torsi

Dari hasil pengujian torsi sesuai Gambar 2, didapatkan torsi tertinggi pada kombinasi pola BRT 2 dengan nilai 11.58 Nm pada putaran 11.000 rpm dan terendah didapatkan pada kombinasi BRT 5 dengan nilai 9.98 Nm pada putaran 13.000 rpm. Sedangkan pada penggunaan ECU standar, torsi yang didapatkan sebesar 11.28 Nm pada putaran 11.000 rpm. Torsi besar sudah diperoleh sejak putaran rendah karena campuran bahan bakar terlalu kaya (*rich*) terutama pada putaran rendah. Hal ini, diindikasikan dengan elektroda busi berwarna hitam. Dalam diagram torsi vs AFR, nilai torsi terbesar memang tidak berada pada campuran bahan bakar dan udara yang ideal melainkan berada pada rentang perbandingan 12,5-13,5 : 1. Namun bila dilihat pada Gambar 2 akan terlihat torsi besar sudah melonjak dari putaran bawah, namun torsi pada putaran atas cenderung cepat melemah. Kondisi seperti ini sangat rawan untuk karakter mesin putaran tinggi dimana putaran mesin akan mudah turun ketika pergantian gigi transmisi.

Kombinasi pola pengapian 1 yang jauh lebih maju dari standar dengan pola bahan bakar yang di program sedikit lebih kurus (*lean combustion*) bertujuan untuk memperbaiki grafik torsi pada putaran tinggi. Namun, hasil pengujian memperlihatkan grafik penurunan torsi yang cukup besar pada putaran rendah. Penyebabnya adalah injeksi bahan bakar yang berbeda antara ECU standar dengan BRT. Pada posisi koreksi *mapping* 0, ECU BRT menginjeksikan bahan bakar yang lebih besar dari standar sehingga membutuhkan nilai koreksi yang lebih kecil dari penggunaan ECU standar.

Hasil Pengujian Daya



Gambar 3. Hasil uji daya

Pola bahan bakar pada ECU standar memiliki volume penginjeksian yang kaya. Gambar 3 menunjukkan daya yang cukup bagus dari putaran rendah, namun lonjakan pada putaran menengah tidak signifikan sehingga akselerasi putaran tingginya cenderung lemah dan waktu perpindahan antar gigi transmisi jadi lebih lama. Hal ini akan sangat berpengaruh dengan catatan waktu tempuh di lintasan.

Hasil output torsi dan daya pada motor performa tinggi seharusnya terletak pada rentang putaran yang berdekatan. Tujuannya adalah ketika mesin mencapai puncak keluaran torsi dan daya masih dalam nilai yang besar atau tidak turun jauh dari puncak torsi. Ini memungkinkan terciptanya akselerasi yang lebih cepat pada saat perpindahan gigi transmisi.

Pengaturan ulang volume bahan bakar dan pengapian sistem injeksi sangat berpengaruh untuk menciptakan karakter dan tenaga motor. Pengujian BRT 1 dengan volume injeksi yang cukup kaya menimbulkan turunnya tenaga yang sangat drastis pada putaran tinggi, sebab banyak bahan bakar yang tidak terbakar akibat terlalu cepatnya siklus pembakaran. Bila banyak bahan bakar yang tidak terbakar, tidak hanya jelaga saja yang timbul, namun juga akan menurunkan suhu ruang bakar.

Pengujian ke-2 dengan pola bahan bakar yang lebih kurus (*lean combustion*) dengan waktu pengapian yang maju seperti pola pertama, sudah mendapatkan perbaikan keluaran daya pada setiap putaran mesin. Daya puncak membaik pada angka 19.3 hp pada putaran 12.750 rpm. Bila dilihat dari warna busi setelah pengujian masih berwarna coklat kehitaman, maka masih ada kemungkinan mendapatkan keluaran daya yang lebih besar dengan campuran bahan bakar yang lebih kurus.

Terbukti pada pengujian ke-3 dengan pola pengapian yang sama dan pola bahan bakar yang lebih kurus (*lean combustion*), keluaran daya mengalami kenaikan yang signifikan pada putaran bawah dan menengah. Dari putaran 8.750 rpm, keluaran daya menghasilkan nilai paling tinggi dari semua pola yang diujikan. Daya puncak juga terbaik dengan nilai 19.6 hp pada 12.750 rpm dengan warna elektroda busi kemerahan.

Pola bahan bakar yang lebih kurus (*lean combustion*) diujicobakan pada pengujian ke-4 untuk menguatkan pola terbaik yang tepat. Bila

dilihat dari hasil pembakaran pada elektroda busi setelah pengujian berwarna merah muda maka pola pengujian ke-4 tidak lebih baik dari pengujian ke-3. Dengan campuran bahan bakar yang lebih kurus ini juga menimbulkan temperatur mesin naik hingga daya pada saat suhu semakin tinggi akan menurun dan kemungkinan mesin mengalami *overheat* sangat tinggi.

Bahan bakar yang terlalu kaya dengan kombinasi pola pengapian yang sedikit dimajukan menyebabkan keluaran daya yang buruk dan menghasilkan emisi berjelaga hingga keluaran daya puncak pun jauh menurun. Seperti pada pengujian ke-5 yang hanya mendapatkan keluaran daya puncak sebesar 18.5 hp.

Pengujian ke-6, ke-7, dan ke-8 menunjukkan pola bahan bakar dengan volume penginjeksian yang cukup untuk memenuhi permintaan mesin. Grafik daya pada pengujian ke-6 dan ke-7 masih dibawah pola pengapian yang lebih maju. Namun pola ke-8 menunjukkan bahwa pola bahan bakar yang kurus akan lebih cepat habis terbakar dan mesin cenderung kekurangan bahan bakar. Pengapian yang lebih mundur memperlambat waktu pembakaran hingga habisnya bahan bakar dalam ruang bakar, sehingga temperatur mesin akan menurun dan kemungkinan tenaga membaik pada putaran tinggi.

KESIMPULAN

Dari kegiatan penelitian diperoleh kesimpulan bahwa pola mapping BRT 3 dengan pola bahan bakar yang cenderung kurus (*lean combustion*) dan pengapian yang dimajukan, dicapai daya tertinggi 19,6 hp dan torsi tertinggi 11,57 Nm.

Namun demikian, ECU BRT yang digunakan dalam studi ini masih memiliki kekurangan yakni pada akurasi kalibrasi besarnya volume injeksi bahan bakar. Volume injeksi pada nilai nol (0) pada ECU BRT tidak sama bila dibandingkan dengan ECU standar sehingga besar koreksi *mapping* bahan bakar cenderung dibuat lebih kurus atau bernilai minus (-). Untuk itu, perlu diadakan kalibrasi ulang oleh produsen agar jumlah volume injeksi posisi koreksi nol (0) sama dengan ECU standar. Diharapkan dengan kalibrasi yang sama akan mempermudah koreksi bahan bakar sesuai dengan kebutuhan mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kuhlitz, *Bosch Automotive A product history*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.
- [2] B. S. Nugraha, "Aplikasi Teknologi Injeksi Bahan Bakar Elektronik (EFI) Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Sepeda Motor," *Profesional*, vol. 5, no. 2, pp. 692–706, 2007.
- [3] B. Sugiarto, "Sistem injeksi bahan bakar sepeda motor satu silinder empat langkah," *Makara Teknologi*, vol. 8, no. 3, pp. 77–82, 2004.
- [4] M. Setiyo, *Menjadi Mekanik Spesialis Kelistrikan Sepeda Motor*. Bandung: CV ALFABETA, 2010.
- [5] M. Setiyo and B. C. Purnomo, "Pemajuan Valve Timing Terhadap Peningkatan Perbandingan Kompresi Aktual, Torsi Dan Daya ; Upaya Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Mesin," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2010, p. A.34-A.39.
- [6] Enginebasics.com, "How to tune Air Fuel A_F Ratio Values on EFI engines." https://www.enginebasics.com/EFI_Tuning/AF_Tuning.html.