

Analisis Sinyal Ionisasi Untuk Mendeteksi Ignition Timing Pada Mesin SI

Baso^{1,2,*}, ING Wardana¹, Nurkholis Hamidi¹, Lilis Yulianti¹

1 Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, Malang, Indonesia

2 Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, University of West Sulawesi, Indonesia

* E-mail : basomattalitti3@gmail.com

Abstrak. Penelitian tentang analisis sinyal ionisasi untuk mendeteksi ignition timing dan combustion duration sudah dilakukan. Mesin yang digunakan adalah mesin SI, 125CC, silinder tunggal, fuel system menggunakan carburetor. Rangkaian pengukuran sinyal ionisasi terdiri dari dua resistor 100 k Ω 3 watt, busi NGK CPR5EA dan sumber tegangan dc 145 volt, yang dihubungkan seri satu dengan lainnya sehingga membentuk rangkaian tertutup. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan menerapkan tiga tahap pengukuran. Hasilnya menunjukkan bahwa : 1). Besarnya harga puncak sinyal ionisasi tergantung pada kecepatan putaran mesin dan nilai equivalence ratio λ . Pada pengujian test-1, harga maksimum sinyal sama dengan 0,72 volt pada 1000 rpm dan meningkat menjadi 2,44 volt pada 4000 rpm, kemudian turun menjadi 2,04 volt pada 5000 rpm. Data ini membawa pada kesimpulan bahwa harga puncak sinyal ion tergantung pada kecepatan putaran mesin atau volumetrik bahan bakar yang terbakar dan nilai equivalence ratio λ . Ini berarti bahwa harga puncak sinyal ion dapat dijadikan indikator untuk memantau kualitas pembakaran atau sebagai indikator penunjang dalam menentukan nilai equivalence ratio λ . 2). Lokasi sinyal ionisasi paling dekat pada titik-nol tegangan pengapian disaat putaran semakin ditingkatkan dimana pada saat itu nilai λ berkisar 1,0 – 1,1. Berdasarkan hasil terakhir ini, dapat disimpulkan bahwa lokasi sinyal ini dapat dijadikan data acuan memantau sudut pengapian atau sebagai sinyal feedback pada sistem kontrol sudut pengapian (ignition timing) mesin SI. 3. Lebar sinyal ionisasi secara langsung menunjukkan durasi pembakaran sehingga sangat cocok digunakan untuk memantau dan mengontrol proses pembakaran. Selain itu, lebar sinyal dapat juga digunakan sebagai data acuan untuk menyesuaikan sudut pengapian.

Kata Kunci: Arus ionisasi, Ignition Timing, Equivalence Ratio

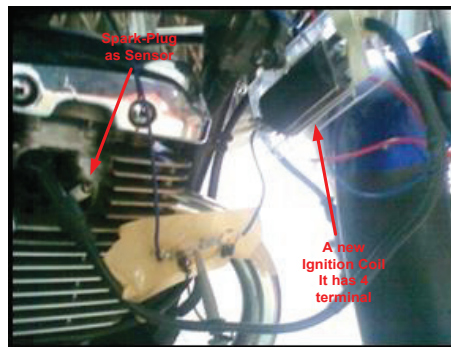
1. Pendahuluan

Masalah energi global dan peningkatan suhu bumi akibat emisi gas buang kendaraan yang berlebihan menjadi issue yang hangat dibicarakan dalam dekade terakhir ini. Para ilmuwan dan peneliti di berbagai negara memberikan perhatian dan berperan serta dalam pengendalian penggunaan energi fosil dan pengurangan emisi gas buang kendaraan melalui peningkatan keandalan sistem manajemen mesin pembakaran dalam (ICE). Peningkatan yang dilakukan mengarah pada pengontrolan mesin secara elektronik dengan menggunakan sensor arus ionisasi. Itulah sebabnya sehingga kontrol elektronik mesin berbasis arus ionisasi menjadi trend saat ini. Banyak peneliti sudah melakukan kajian terhadap potensi sinyal ionisasi sebagai modulator proses pembakaran. Beberapa hasil penelitian sebelumnya yang terkait langsung dengan metode pengontrolan proses pembakaran dalam mesin, diantaranya, **Dimitris Panousakis et al. [1-6]** melakukan analisis sinyal ionisasi dan menyimpulkan bahwa konduktivitas nyala-api berubah-ubah sesuai dengan instabilitas pembakaran. Dengan demikian sinyal ionisasi pembakaran dapat digunakan sebagai ukuran kualitas pembakaran alternatif. **L. Winkler et al. [7]** telah melakukan pengukuran Arus Ion dalam nyala-api gas alam, untuk menentukan korelasi antara arus ion pada burner gas alam industri dan parameter pembakaran. Investigasi pada tahap pertama berfokus pada menentukan korelasi antara kelebihan udara dan sinyal ionisasi. Hasilnya menunjukkan bahwa kecenderungan yang sama, yaitu harga puncak sinyal maksimal pada kondisi ratio udara/bahan bakar λ kurang. **SI. Wei-Dong Hsieh et al. [8]** melakukan investigasi untuk mengetahui karakteristik arus ion dalam mesin berbahan bakar ethanol. Sinyal ionisasi yang dapat dimati hanya terdiri dari dua fase, yaitu fase front-flame dan fase post-flame. Pola saat mesin tidak running, arus ionisasi konstan, tidak amplitudo sinyal sama dengan nol. Harga puncak sinyal ion

meningkat tajam pada saat nilai equivalence ratio mendekati 1,0. Sedangkan pada saat terjadi knocking bentuk gelombang sinyal menjadi tidak sinusoidal murni. **Ingemar Andersson**. [9] sistem manajemen mesin (EMS) membutuhkan umpan balik yang bermuatan informasi tentang kinerja pembakaran untuk dapat secara optimal mengontrol mesin SI. Penginderaan sinyal ionisasi adalah salah satu metode termurah dan paling sederhana untuk memantau kondisi pembakaran dalam mesin SI, tapi masih proses fisika di balik pembentukan arus ionisasi tidak sepenuhnya dipahami. **Michael Försth et al.** [10] melakukan pengukuran arus ion antara dua elektroda yang ditempatkan dalam kalorimeter kerucut dengan bahan bakar propana. Arus ion dapat diukur ketika terjadi peembakaran dan arus ion berubah terhadap perubahan posisi sensor, demikian pula perubahan. **Mathieu Hillion et al.** [11] mengusulkan *strategi* pengontrolan mesin untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dengan cara menyesuaikan waktu tegangan pengapian (ignition timing) terhadap variasi kondisi termodinamika dalam ruang bakar selama transien. **Zhongquan Gao et al.** [12] menyatakan bahwa terdapat hubungan antara arus ion dan suhu pada celah elektroda sensor dengan gas alam terkompresi (CNG) sebagai sebagai bahan bakar. Temperatur kritis terbantuknya ion NO^+ dan tampilnya arus ion post-flame itu sekitar 2000^oK. **Andreas Vressner et al.** [13], juga melakukan kajian tentang *pengaruh bahan bakar terhadap arus ion* pada mesin HCCI. dan menyatakan bahwa amplitudo arus ion dipengaruhi oleh equivalence ratio λ dan fase pembakaran, tetapi waktu arus ion hanya dipengaruhi oleh phase pembakaran. **Gianwang Fan et al.** [14] melakukan eksperimen untuk mendeteksi *misfire dan kontrol pengapian ulang dengan feedback sinyal ion selama start awal dengan injeksi langsung mesin dengan dua tahap*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sangat layak untuk **deteksi misfire** dan control re-ignition dengan menggunakan sinyal ion ionisasi. **Gerard Malaczynski et al.** [15] juga menganalisis arus ionisasi untuk mengukur konduktivitas api. Informasi yang terkandung pada sinyal ionisasi diekstrak untuk digunakan sebagai elemen feedback pada sistem kontrol tertutup mesin. Dan **Yiqun Huang**, [16] menyatakan bahwa *arus ion memberikan peluang deteksi misfire dan knock yang akurat*. Itulah sebabnya sehingga teknologi penginderaan arus ionisasi masih terus karena potensi yang dimiliki oleh arus ion sangat menjanjikan dalam pengontrolan atau manajemen mesin SI. Dengan mereview semua penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa para peneliti sudah meyakini bahwa sinyal ionisasi pembakaran mempunyai potensi yang cukup besar untuk monitoring dan pengontrolan proses pembakaran dalam mesin SI. Aplikasi sinyal ionisasi untuk mengekstrak informasi kondisi pembakaran sudah cukup banyak, diantaranya adalah ; interpretasi sinyal ionisasi untuk mendeteksi knocking, misfire, posisi tekanan silinder, posisi crankshaft, temperatur dan igniton timing. Dan parameter pembakaran yang belum dianalisis dan diterjemahkan dari arus ionisasi oleh para peneliti sebelumnya adalah lamanya proses pembakaran berlangsung (combustion duration) dalam satu siklus pembakaran. Dan tujuan penelitian yang saya sudah laksanakan adalah pengkajian sinyal ionisasi untuk menentukan korelasinya terhadap durasi pembakaran dan saat pelepasan percikan busi pada mesin SI, dan melalui seminar ini hasilnya saya ini dipublikasikan.

2. Experimental Setup And Procedures

Mesin SI, 4-tak dimodifikasi untuk memasang dua busi pada kepala-silinder. Jarak antara kedua busi sama dengan 1,0 mm, dan sudah test dengan aplikasi tegangan ac 12 kV dan ternyata tidak terjadi hubung-singkat. Koil pengapian juga diganti dengan koil pengapian yang mempunyai 4 terminal. Hal ini dilakukan karena diperlukan penambahan komponen elektronik (sensor ion alternatif) sebelum dihubungkan ke ground. Mesin yang sudah dimodifikasi dapat dilihat pada gambar 1 dan spesifikasi mesin ditunjukkan oleh gambar 2.

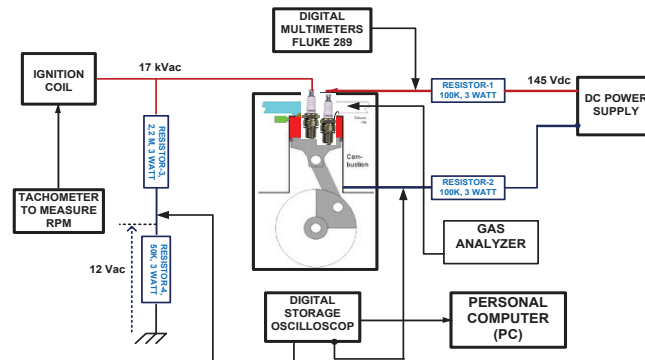


Gambar 1. Mesin SI 125 cc, 4 stroke

Engine Spesification	
Engine Type	4 Stroke, SOHC
Cylinder Number	1
Bore	57 mm
Stroke	48,8 mm
Maximum Power	11,28 PS/9000 rpm
Maximum Torque	9,4 N-m
Compression Ratio	9,0 : 1
Fuel System	Carburetor

Gambar 2. Engine Spesification

Skema pengujian dan pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



Keterangan : R1 : Konverter Arus-Tegangan ionisasi pada terminal positif tegangan eksitasi
R2 : Konverter Tegangan ion pada terminal negatif tegangan eksitasi
R3 dan R4 : Reductor Tegangan pengapian

Gambar 3. Skema pengujian dan pengukuran sinyal ionisasi

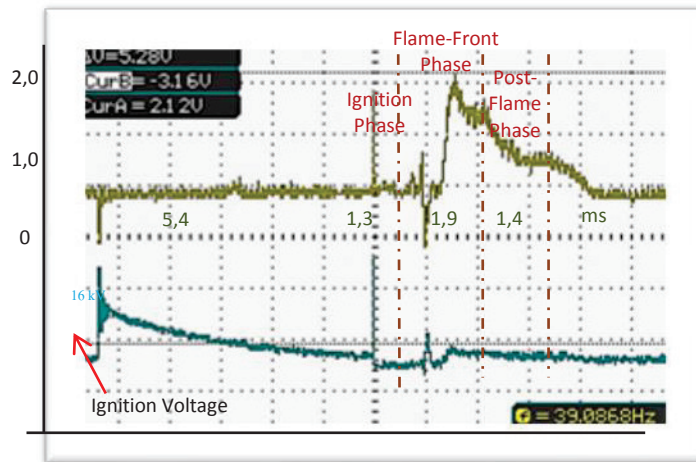
Prosedur Pengujian dan pengukuran

Pengujian dan pengukuran sinyal ionisasi dilakukan tiga kali, dimana pada test-1 kontrol pengatur bahan bakar disetting pada penyumbatan 90 persen, pada test-2, diseting pada penyumbatan 50 persen dan pada test-3 diseting pada penyumbatan 10 persen. Hal ini dilakukan untuk memperoleh distribusi nilai λ yang menyebar merata. Pada semua tahap pengukuran (Test-1, Test-2 dan Test-3), pembacaan instrument dan perekaman data dilakukan pada putaran mesin (1000, 2000, 3000, 4000 dan 5000) rpm tanpa beban. Pengukuran sinyal ionisasi dilakukan dengan menggunakan Digital Storage Oscilloscope (DSO) pada CH-1 dan di-back-up oleh TRUE RMS Multimeter Fluke 289. Sedangkan pengukuran tegangan pengapian juga diukur dengan DSO yang diaplikasikan pada CH2 paralel dengan sinyal ionisasi. Pengukuran (equivalence ratio) λ dilakukan dengan Gas Analyzer dan pengukuran kecepatan putaran mesin direkam dengan tachometer digital. Ke empat parameter tersebut di atas diukur (Get-Shoot) pada waktu yang sama bersamaan (timing yang sama).

3. Results And Discussion

Untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi sebuah sinyal umumnya didasarkan beberapa parameter, yaitu amplitudo, sudut fasa, lebar sinyal dan frekwensi. Dalam kajian ini, sinyal akan diidentifikasi dan dianalisis berdasarkan harga puncak (amplitudo), posisi dan lebar sinyal terhadap kecepatan putaran mesin dan equivalence ratio λ bahan bakar. Posisi sinyal (lokasi) sinyal dihitung terhadap titik-nol (zero-crossing) tegangan pengapian. Perhatikanlah bentuk gelombang sinyal ionisasi pada test-2,

putaran mesin 5000 rpm, equivalence ratio sama dengan 1,1 dan sudut pengapian sama dengan 38° BTDC pada gambar 6 berikut ini.

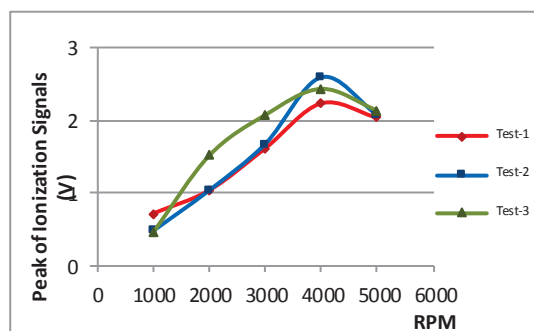


Gambar 4. Sinyal Ionisasi yang direkam pada test-2, 5000 RPM

Sinyal ionisasi terdiri dari tiga fase, yaitu *ignition phase*, *flame-front phase* dan *post-flame phase*. Pada “ignition phase” terjadi sedikit ringing, gangguan ini disebabkan oleh adanya induksi pulsa tegangan tinggi pengapian menjelang sesudah terjadi percikan. Sinyal ionisasi pada fase *flame-front* dihasilkan oleh ion-ion positif dan elektron yang terbentuk selama terjadi ionisasi-kimia seperti CHO^+ , H_3O^+ , C_3H_3^+ , dengan persamaan reaksi : $\text{CH} \rightarrow \text{O} \quad \text{CHO}^+ + \text{e}$, $\text{CHO}^+ + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}$, dan $\text{CHO}^+ \rightarrow \text{e} \quad \text{H}_2\text{O} + \text{H}$ [Rainmann et al]. Ion-ion yang dihasilkan oleh pembakaran memiliki kecepatan rekombinasi yang berbeda, beberapa ion berekombinasi sangat cepat dengan molekul yang lebih stabil sedangkan ion-ion lain lebih lama. Akibatnya, *rise-time* sinyal naik sangat singkat sedangkan *full-time* lebih lambat. Pada fase *post-flame* hampir seluruhnya adalah kontribusi dari ionisasi termal. Pada zona ini (post-flame) energi kinetik partikel-partikel gas sangat tinggi sehingga saling bertabrakkan dengan kuat yang akhirnya menghasilkan pasangan elektron bebas dan ion-ion positif. Partikel-partikel inilah yang membentuk sinyal ionisasi pada zona *post-flame phase* [2].

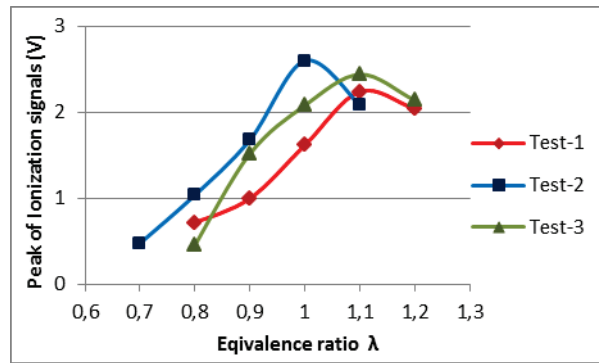
1. Karakteristik sinyal ion terhadap kecepatan putaran dan equivalence ratio λ

Hasil pengukuran sinyal ionisasi pada test-1, test-2 dan test-3 pada kecepatan putaran mulai dari 1000 rpm sampai dengan 5000 rpm dan rentang nilai equivalence ratio sama dengan (0,7 – 1,2), dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 5. Karakteristik sinyal ionisasi terhadap RPM

Terlihat pada gambar 5, harga puncak sinyal ionisasi meningkat dengan peningkatan kecepatan mesin. Pada test-1, harga puncak sinyal sama dengan 0,72 volt pada putaran 1000 rpm dan meningkat menjadi 2,24 volt pada putaran 4000 rpm, tapi kemudian turun menjadi 2,04 volt pada putaran 5000 rpm. Hal ini dapat dijelaskan dengan menganalisis aliran energi. Penambahan jumlah bahan bakar (energi) masuk ke ruang bakar sehingga intensitas pembakaran meningkat, putaran mesin bertambah dan jumlah ion-ion positif dan elektron lebih besar. Akibatnya konduktivitas celah sensor meningkat dan arus ion yang mengalir dalam rangkaian pengukuran menjadi lebih besar.



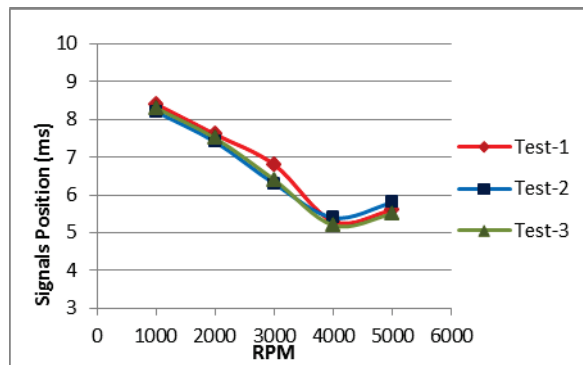
Gambar 6. Karakteristik sinyal ionisasi terhadap λ

Pertanyaannya sekarang, mengapa pada putaran mesin 5000 rpm, puncak tegangan ionisasi bahkan turun menjadi 204 volt ?, jawabannya terdapat pada gambar 6. Perhatikan karakter sinyal terhadap equivalence ratio, terlihat harga puncak sinyal maksimum pada saat nilai equivalence ratio λ sama dengan 1,1 atau saat terjadi pembakaran sempurna. Kecenderungan sinyal ionisasi yang kami peroleh dalam penelitian ini hampir sama dengan hasil penelitian yang dipublikasikan oleh Yikun Huang, 2004 [5].

Jika data-data pada gambar 5 dan 6 dikombinasikan, dapat disimpulkan bahwa harga puncak sinyal ionisasi tergantung pada kecepatan putaran mesin dimana nilai equivalence ratio sama dengan (1,0 -1,1) atau saat terjadi pembakaran yang stoikiometri. Dengan demikian karakteristik sinyal ionisasi ini dapat dijadikan indikator untuk mendeteksi *kualitas pembakaran* pada mesin SI.

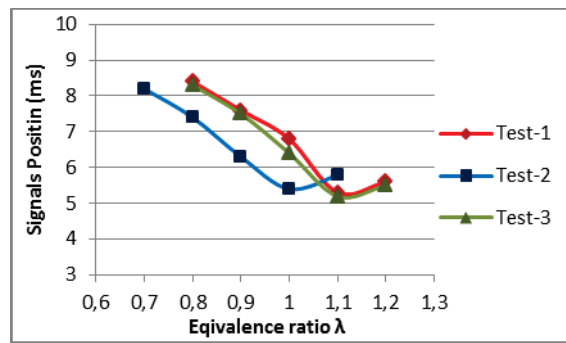
2. Korelasi posisi sinyal terhadap RPM mesin dan equivalence ratio λ .

Hasil pengukuran posisi sinyal ionisasi pada test-1, test-2 dan test-3, pada kecepatan putaran dari 1000 rpm sampai dengan 5000 rpm dan rentang nilai equivalence ratio sama dengan (0,7 – 1,2), ditunjukkan oleh gambar 11 dan gambar 12.



Gambar 7. Karakteristik posisi sinyal ionisasi terhadap Rpm

Hasil pengukuran pada gambar 7 (test-1, test-2 dan test-3), memperlihatkan posisi sinyal semakin mendekati tegangan pengapian pada saat kecepatan putaran dinaikkan secara bertahap. Ini berarti, selang waktu antara timbulnya tegangan pengapian dan awal pembakaran semakin singkat. Dan praktis, alokasi waktu untuk proses pembakaran juga berkurang seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Karena sinyal ionisasi mewakili proses pembakaran dan posisi sinyal *mengandung informasi tentang selang waktu antara saat percikan api dan saat mulainya pembakaran pada setiap siklus*, maka praktis informasi ini dapat dijadikan indikator untuk mendeteksi waktu pengapian (*ignition timing*) tegangan pengapian pada mesin SI. Gambar 8, menunjukkan hasil pengukuran posisi sinyal terhadap perubahan Aqivalence ratio λ . Terlihat, posisi sinyal paling dekat pada tegangan pengapian pada saat nilai λ pada kisaran (1,0 – 1,1) untuk semua perlakuan.



Gambar 8. Karakteristik posisi sinyal ionisasi terhadap equivalence ratio

Karakteristik *posisi sinyal* terhadap perubahan equivalence ratio yang terlihat bahwa posisi sinyal akan jauh dari titik-nol tegangan pada saat campuran bahan bakar sangat kaya atau sangat miskin. Dan paling dekat pada titik-nol tegangan pengapian pada saat campuran bahan bakar terjadi pembakaran sempurna. Jika kedua karakter ini dikombinasikan, maka akan diperoleh sinyal feedback yang cukup baik untuk pengontrolan sudut pengapian (ignition timing) mesin SI.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengalaman dan pengamatan selama penelitian ini dilaksanakan dan hasil analisis data pengukuran, diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Harga puncak sinyal ion tergantung pada kecepatan putaran mesin atau besarnya volume campuran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar dan nilai equivalence ratio λ . Dan jika dipadatkan lagi, dapat didefinisikan harga puncak sinyal ion sama dengan energi yang dihasilkan mesin.
2. Fenomena pada point (1) ini menunjukkan bahwa harga puncak sinyal ion dapat dijadikan indikator untuk memantau kualitas pembakaran dan sekaligus sebagai indikator penunjang untuk menentukan nilai equivalence ratio λ .
3. Lokasi sinyal ionisasi paling dekat pada titik-nol (zero-crossing) tegangan pengapian pada saat putaran semakin ditingkatkan dimana pada saat itu nilai λ berkisar 1,0 – 1,1. Karakteristik data pengukuran posisi sinyal ion, membawa kita pada satu simpulan bahwa lokasi sinyal ini dapat sangat cocok dijadikan data referensi untuk memantau sudut pengapian atau sebagai sinyal feedback pada sistem kontrol sudut pengapian (ignition timing) mesin SI.
4. Lebar sinyal ionisasi secara langsung menunjukkan durasi pembakaran dalam mesin sehingga sangat cocok digunakan untuk memantau dan mengontrol proses pembakaran. Selain itu, lebar sinyal dapat juga digunakan sebagai data acuan untuk menyesuaikan saat pengapian.

5. Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgements*)

Pada kesempatan ini kami sampaikan terima kasih kepada Pimpinan VEDC Malang yang banyak memberikan dukungan moral dan materil dalam bentuk pengujian tegangan tinggi pengapian. Juga kepada Ketua Jurusan Teknik Elektro UB serta jajarannya, yang telah memberikan izin penggunaan fasilitas Laboratorium motor-motor listrik. Terlebih kepada Tim Promotor, khususnya kepada Prof. ING. Wardana, MEng, Ph.D, yang telah banyak memberikan dukungan moral dan material.

6. Daftar Fustaka

- [1] Dimitris Panousakis, Andreas Gazis, Jill Patterson and Rui Chen. Analysis of SI Combustion Diagnostics Methods Using Ion-Current Sensing Techniques. Loughborough University, Proceedings of SAE 2006 World Congress, Detroit, USA, 3rd-6th April.
- [2] Lars Eriksson and Lars Nielsen. Ionization current interpretation for ignition control in internal combustion engine. Department of Electrical Engineering Linköping University, SE{581 83 Linköping, Sweden, 1999.

- [3] Axel Franke. Characterization of an Electrical Sensor for Combustion Diagnostics. Division of Combustion Physics Lund Institute of Technology, Swedia, 2002.
- [4] Martin Kiefer, Ulrich Maas, Sungbae Park, Xiaochuan Pian, Gordy Koilmann, Gijs Olde Loohuis, Danny Leerkes, Henk Kalk, Detlef Markus, Tim Langer. Combustion on Flame Ionization. 25th World Gas Conference (04-08 June 2012, Kuala Lumpur).
- [5] Johan Nilsson. AC Ion Current Interface. 180/240 point Electrical Engineering course at Karlstad University, Sweden, 2008.
- [6] Zhongquan Gao, Benzhenh Li, Bing Liu, Shenghua Liu, Xiaomin Wu, Zuohua Hung. Investigation on characteristics of ion current in a methanol direct-injection spark-ignition Engine. Fuel 141(2015) 185-191.
- [7] L. Winkler¹, N. Hegman, C. Raffay, A.B. Palotas. Ion Current Measurement in Natural Gas Flames. Third European Combustion Meeting ECM 2007.
- [8] Wei-Dong Hsieh, Rong-Hong Chen, Tsung-Lin Wub, Ta-Hui Lina. Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. Department of Mechanical Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan 70101, Taiwan, ROC, 2002. Atmospheric Environment 36 (2002) 403-410.
- [9] Ingemar Andersson. Cylinder Pressure and Ionization Current Modeling for Spark Ignited Engines. Linköping Studies in Science and Technology. Thesis N0. 962.
- [10] Michael Försth (SP) and Anders Larsson (FOI). On the use of ion current measurements to detect ignition in the cone calorimeter. SP Technical Research Institute of Sweden, SP report 2008:50.
- [11] Mathieu Hillion, Jonathan Chauvin, Nicolas Petit. Open-loop combustion Timing Control of a spark-Ignited Engine. Proceeding of 47th IEEE Conference on Decision and control Cancun Mexico, Dec. 9-11, 2008.
- [12] Zhongquan Gao, Xiaomin Wu, Cao Mann, Xiangwen Meng, Zuohua Hung. The relationship between ion current and temperature at the electrode gap. Applied Thermal Engineering 33-34(2012)-23.
- [13] Andreas Vressner, Anders Hultqvist, Per Tunestal, Bengt Johansson. Fuel Effects on ion current in an HCCI engine. 2005 SAE International.
- [14] Jianwang Fan, Jian Bian, Haifen Lu, Sinyu Tong and Liguang Li. Misfire detection and Re-ignition control by ion current signal feedback during cold start in two-stage direct-injection engine. International journal of Engine research 0(0) 1-11 ImechE 2012.
- [15] Gerard Malaczynski, Gregory Roth and Donald Johnson. Ion-Sense-Based Real-Time Combustion Sensing for Closed Loop Engine Control. SAE Int. J. Engine 6(1): 2013, doi10.4271/2013-01-0354.
- [16] Yiqun Huang. In-cylinder Ion Sensing Opportunities. Designing Electronics Powertrain Controls Symposium May 4-6, 2004, Austin, Texas.