

KOLOKIU PENYELIDIKAN 2021
INSTITUT TADBIRAN AWAM NEGARA

An illustration of a globe in the center, surrounded by various symbols: a sun, a dam, skyscrapers, wind turbines, solar panels, and leaves. The globe is rendered in shades of red and pink. The background features several overlapping circles in orange and teal colors.

KAJIAN EVOLUSI PARTIKEL JELAGA DI DALAM SILINDER ENJIN DIESEL MELALUI KAEDAH BEREKSPERIMEN DAN SIMULASI BERKOMPUTER

DR. FADZLI BIN IBRAHIM
INSTITUT PENYELIDIKAN SAINS & TEKNOLOGI PERTAHANAN
(STRIDE)

KANDUNGAN



• Pendahuluan



• Penyataan Masalah



• Objektif Kajian



• Kajian Kepustakaan



• Kaedah Kajian



• Keputusan & Perbincangan



• Kesimpulan



• Sumbangan



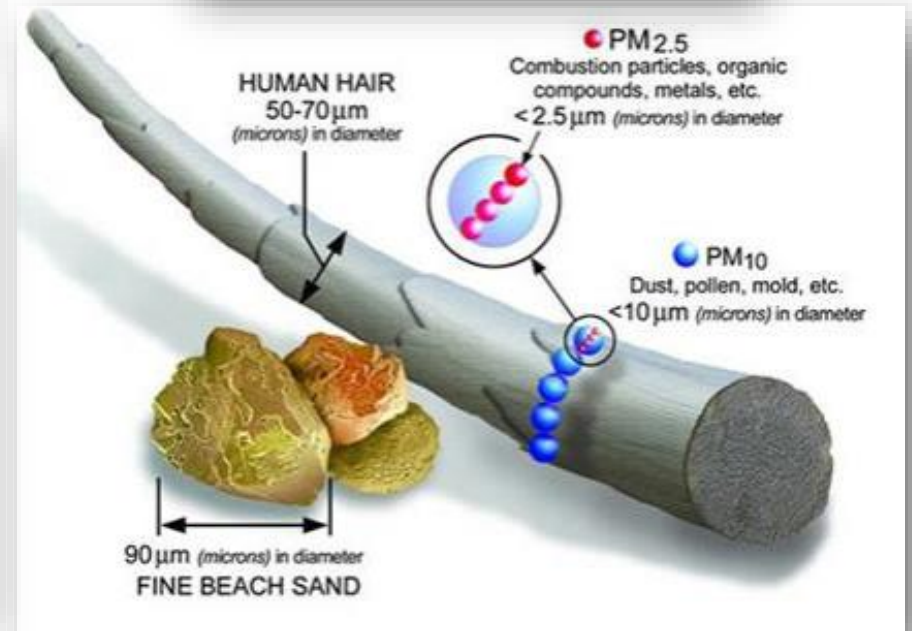
• Cadangan Penyelidikan



• Penerbitan & Persidangan

PENDAHULUAN

APA ITU JELAGA?



PENDAHULUAN BAHAYA JELAGA

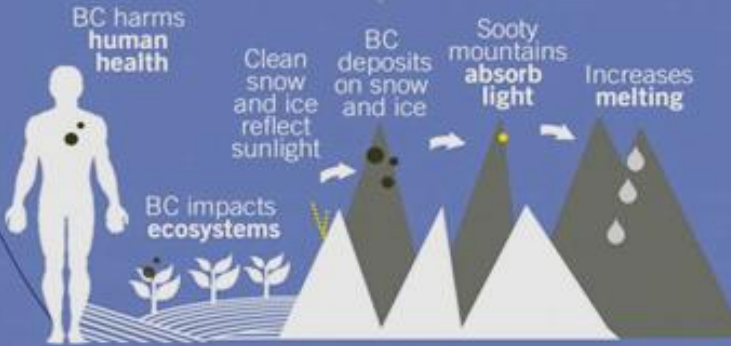
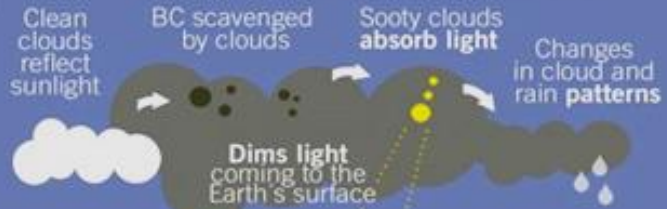
Black Carbon (BC) and Co-pollutants from Incomplete Combustion

Black carbon particles are formed from the incomplete combustion of biomass and fossil fuels. It is a powerful climate forcer and dangerous air pollutant.

IMPACTS

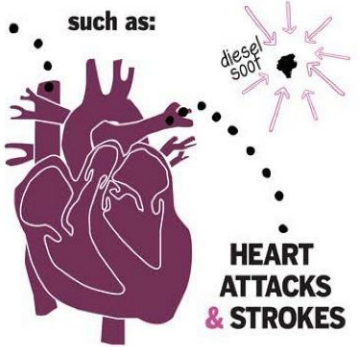
Suspended in the atmosphere, BC particles contribute to **global warming** by absorbing energy and converting it to heat

BC is a dangerous local air pollutant which can also be **transported across the globe**



@CAC

Heavy metals & other toxics stick to fine, sooty particles in diesel pollution. These particles can travel through our bodies and cause harm



Diesel pollution causes up to **460 premature deaths** in Oregon each year.

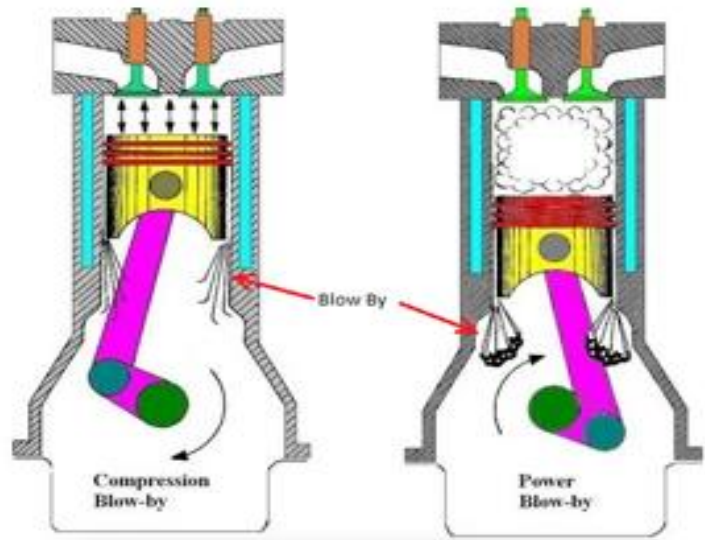


These toxics can also lead to **INFERTILITY, LUNG DAMAGE, LUNG CANCER, asthma attacks, allergies or infections.**

oec Oregon Environmental Council
It's Your Oregon

#DirtOnDiesel

www.oconline.org



PENYATAAN MASALAH

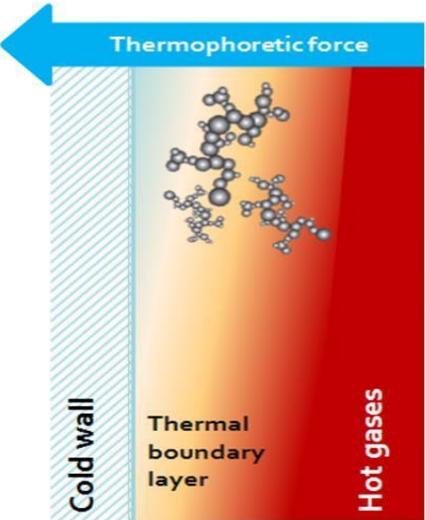
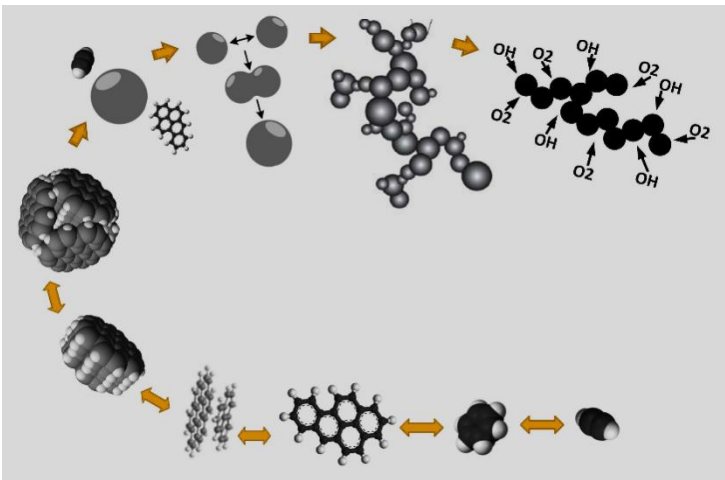
Pembentukan partikel jelaga akibat pembakaran tidak lengkap di dalam silinder enjin

Evolusi dan pergerakan partikel di dalam silinder enjin sama ada ke arah dinding atau keluar melalui ekzos

Partikel jelaga yang terlekat pada dinding silinder menyebabkan kehausan komponen dalaman enjin

Partikel jelaga yang memasuki ruangan takungan menyebabkan pencemaran dan degradasi minyak enjin

Sisa minyak enjin yang terpaksa dilupuskan turut menyumbang kepada pencemaran alam sekitar



OBJEKTIF KAJIAN

OBJEKTIF

01

Membangunkan **teknik pensampelan jelaga** untuk mendapatkan taburan saiz dan jisim partikel jelaga bagi penentusahan kepada keputusan simulasi berkomputer.

OBJEKTIF

02

Mengenalpasti **taburan saiz dan jisim partikel jelaga melalui kaedah simulasi berkomputer** dengan menggunakan model jelaga PSM yang telah dipilih berdasarkan keupayaan untuk memberikan keputusan yang lebih tepat dan ekstensif dan disahkan dengan keputusan eksperimen.

OBJEKTIF

03



Menentukan **taburan jelaga dan jisim spesis pembentukan jelaga melalui kaedah simulasi berkomputer** dengan menggunakan model jelaga PSM yang telah dipilih.

OBJEKTIF

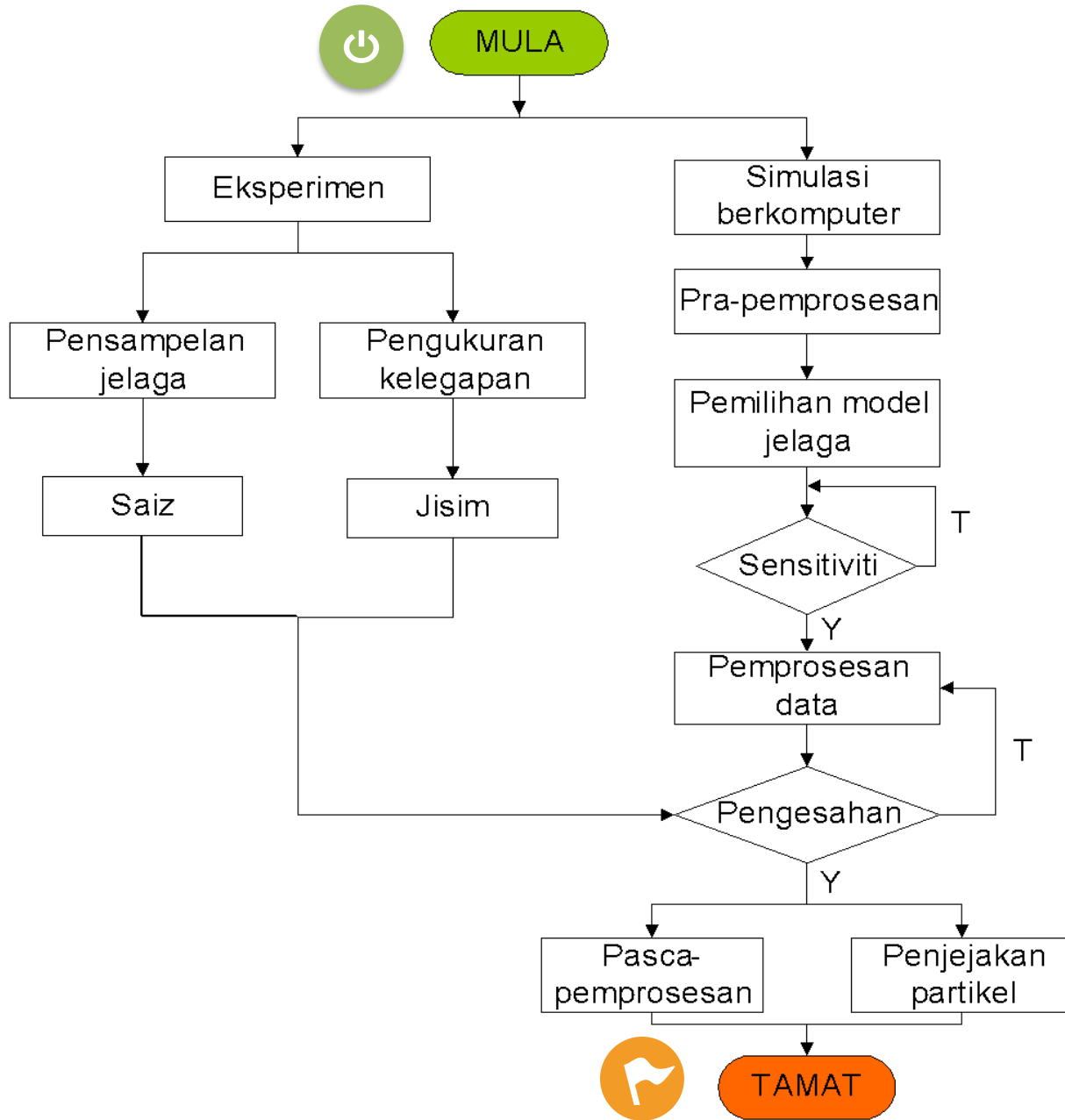
04

Membangunkan serta mengaplikasikan algoritma termoforesis dan teknik interpolasi RBF bagi **meningkatkan ketepatan rutin penjejakan partikel jelaga di dalam silinder enjin** dengan pengaturcaraan Matlab

KAJIAN KEPUSTAKAAN

	Pembentukan partikel jelaga	Pencirian/morfologi partikel jelaga (jisim, saiz dll.)	Penjejakan partikel jelaga
<p>Kaedah eksperimen</p> 	<p>Kittelson (1998), Tree & Svensson (2007), Maricq (2007), Bockhorn (2013), Mohankumar & Senthilkumar (2017)</p>	<p>Zhang et. al. (2013), Kook et. al. (2013), Uy et al. (2014), Zhang & Kook (2015), Zhang et. al. (2017), Rohani & Bae (2017), Commodo et al. (2018)</p>	<p>La Rocca et al. (2013), La Rocca et al. (2014), Key et al. (2018)</p>
<p>Kaedah simulasi berkomputer</p> 	<p>Kennedy (1997), Xi & Zhong (2006), Omidvarborna (2015), Raman & Fox (2016)</p>	<p>Tan et. al. (2013a), Tan et. al. (2013b), Tan et. al. (2016), Roy & Haworth (2016) Veshkini & Dworkin (2017), Lucchesi et al. (2017), Zhao et. al. (2017)</p>	<p>Wan Mahmood (2011), Wan Mahmood et al. (2012), Zuber et al. (2014), Zuber (2015), Zuber et al. (2015a), Zuber et al. (2015b), Ong (2017), Ong et al. (2018)</p>

KAEDAH KAJIAN



Parameter	Spesifikasi
Model enjin	Yanmar TF90M
Jenis enjin	Enjin diesel 4 kitaran penyejukan air
Sesaran enjin	493 cm ³
Bilangan silinder	1
Gerek × Lejang	85 × 87 mm
Sistem suntikan bahan api	Suntikan terus
Muncung suntikan (n × Ø d)	4 × Ø 0.22 mm
Nisbah mampatan	18.0:1
Kelajuan enjin	1600 r.p.m
Beban enjin	0 kW, 2 kW, 4 kW



KAEDAH KAJIAN

Eksperimen



Kaedah bereksperimen dilakukan sebagai penentusahan kepada keputusan simulasi



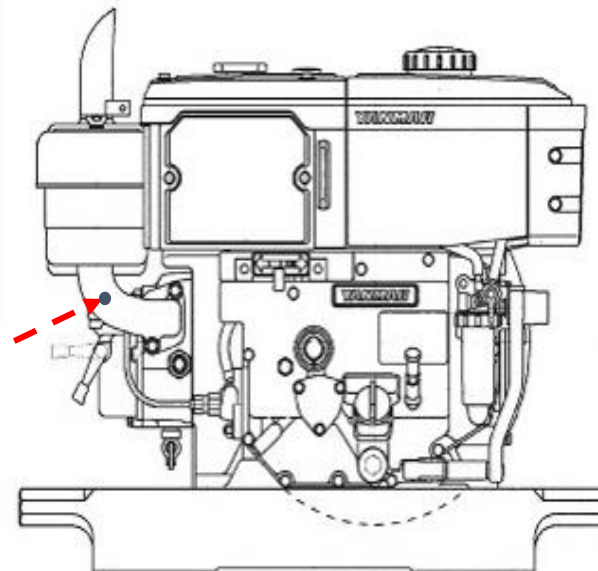
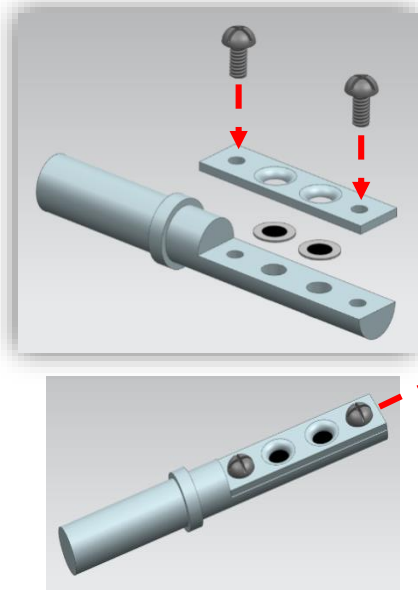
Teknik pensampelan jelaga secara termoforesis telah berjaya dibangunkan untuk mengukur saiz jelaga, sebelum pencirian menggunakan TEM dilakukan



Pengukuran jisim dilakukan dengan penukaran nilai kelegapan asap yang diukur menggunakan penganalisis emisi Bosch (Alkidas 1984; Homan 1985)



3 keadaan operasi enjin dengan beban yang berbeza - 40%, 20% dan 0%



KAEDAH KAJIAN

Simulasi dengan Perisian CONVERGE



Pra-pemrosesan: hasilkan model (Unigraphics NX) dan semak geometri kebuk pembakaran (CONVERGE Studio)



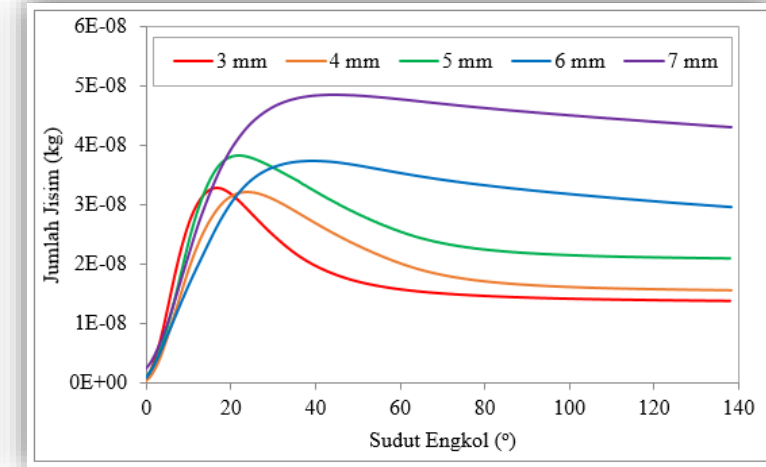
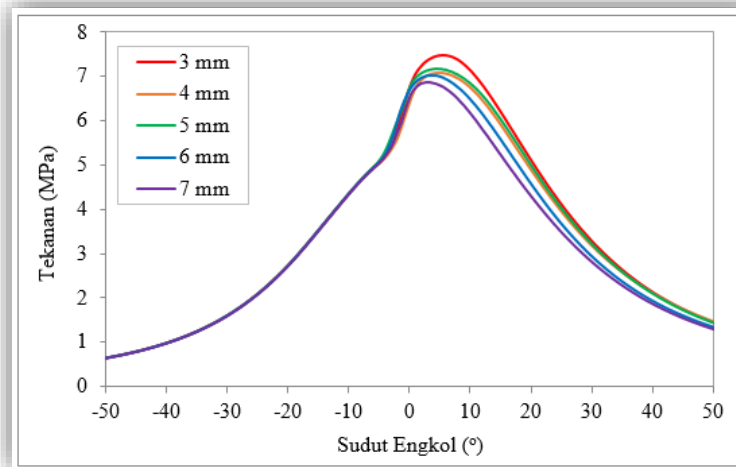
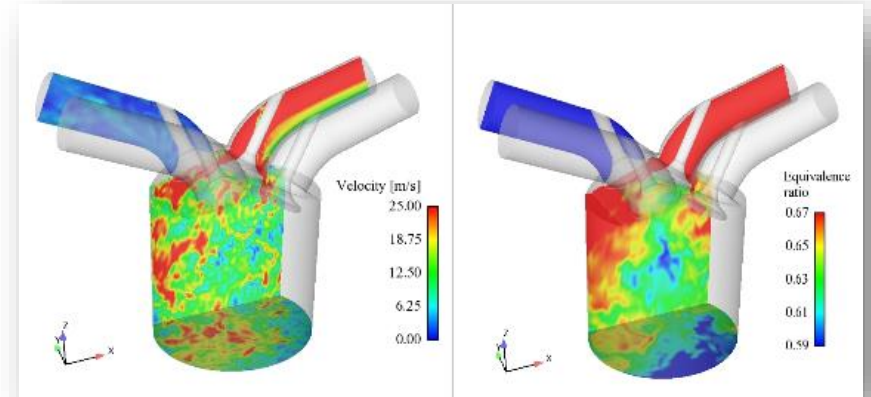
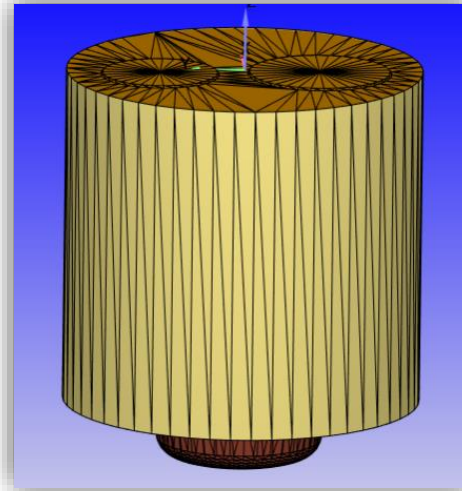
Penetapan kes kajian: bahan api Diesel Euro5M, sela masa simulasi dan model fizikal



Pemilihan model jelaga PSM: taburan saiz, jumlah jisim & ketumpatan bilangan jelaga



Ujian sensitiviti saiz grid jejaring: ujian tekanan dan jumlah jisim jelaga
– saiz grid 4 mm



KAEDAH KAJIAN

Program Penjejakan Jelaga dengan Perisian MATLAB



Tatacara penukaran data CFD kepada data MATLAB berjaya dihasilkan



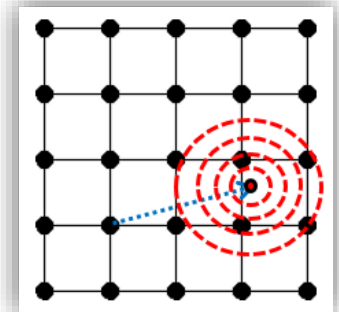
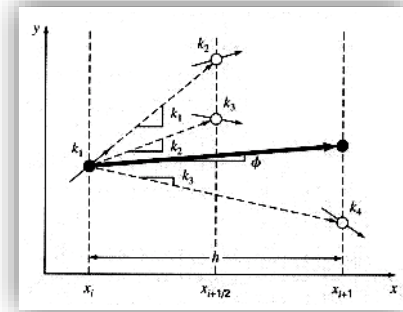
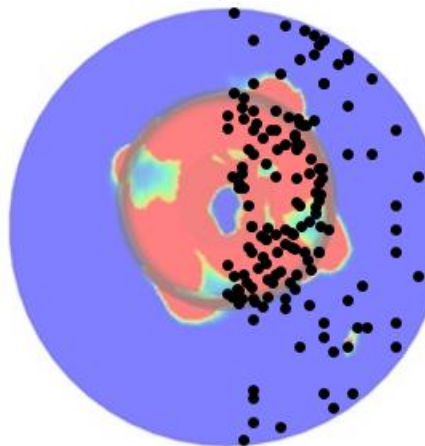
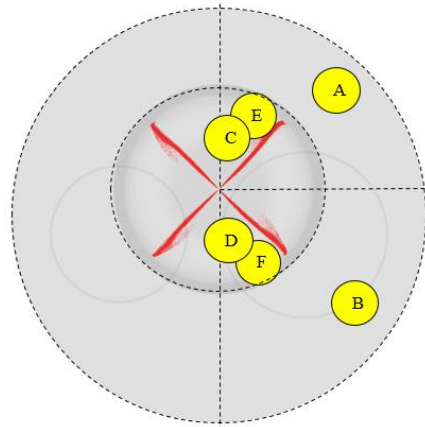
Pembahagian kepada 6 zon dan pemilihan 150 titik permulaan penjejakan ketika sudut engkol 0.25° ATDC



Ramalan pergerakan : RK4
Interpolasi parameter : RBF
Termoforesis : Suhre & Foster (1992)
Saiz jelaga : Hiroyasu (1976) & NSC (1962)



Rutin penjejakan partikel jelaga menggunakan MATLAB R2013a



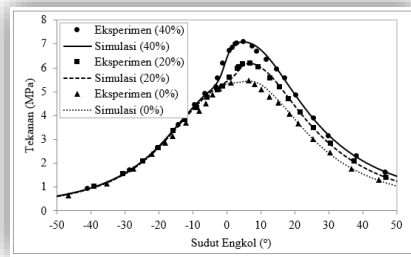
```
1 PSM_SootTracking_RBF_RK4rev11_netherm_redux.m
2
3 CREATE OUTPUT FILE
4
5 namefile=input('Name the file for your results:','s');
6 result_file_name=printf('%s',namefile,'.xlsx');
7 save result_file_name;
8
9 FileOpen=fprintf('No %s','your result file will be name as:',result_file_name);
10 disp(FileOpen);
11
12 x=write(result_file_name,1);
13
14 excel=actxserver('Excel.Application');excel always opened so that works faster
15 File=excel.Workbooks.Open('');
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
```

KEPUTUSAN & PERBINCANGAN



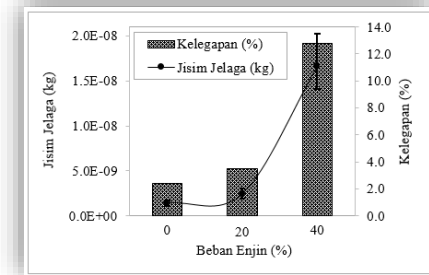
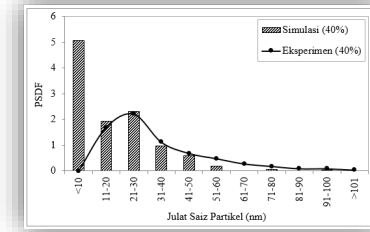
Profil Tekanan Dalam Silinder

Profil tekanan bagi simulasi berkomputer adalah selaras dengan profil tekanan daripada eksperimen.



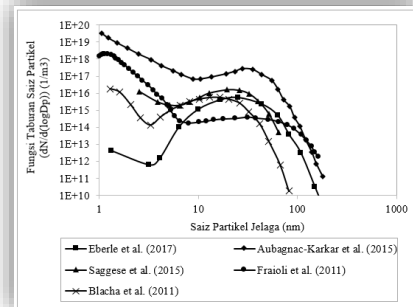
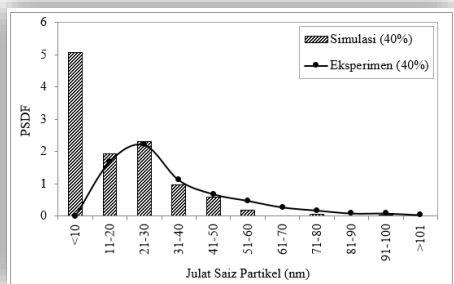
Jumlah Jisim Partikel Jelaga

Menunjukkan nilai yang sebanding dengan keputusan eksperimen, sekaligus mengesahkan keputusan jumlah jisim yang diperolehi tersebut.



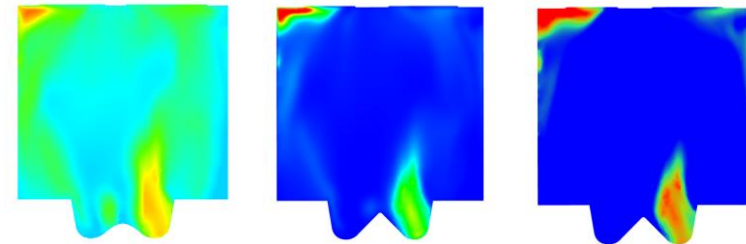
Taburan Saiz Partikel Jelaga

Corak taburan dwi-ragam dan sebanding. Taburan tertinggi ialah dalam julat saiz < 10 nm dan 11-30 nm.



Taburan Partikel Jelaga

Pada akhir simulasi (antara lejang kuasa & ekzos), ketumpatan bilangan jelaga semakin berkurang & kebulut pembakaran dipenuhi dengan jelaga bersaiz lebih kecil & berjisim lebih rendah.



KEPUTUSAN & PERBINCANGAN

Penjejakan Partikel Jelaga Dengan Faktor Termoforesis



Kesan termoforesis ke atas trajektori @ garis laluan pergerakan partikel mengikut zon yang telah dibahagikan.



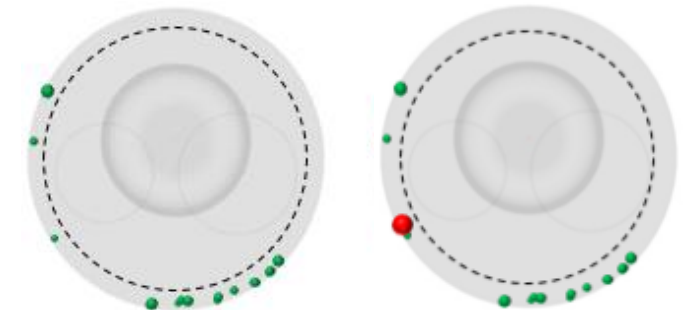
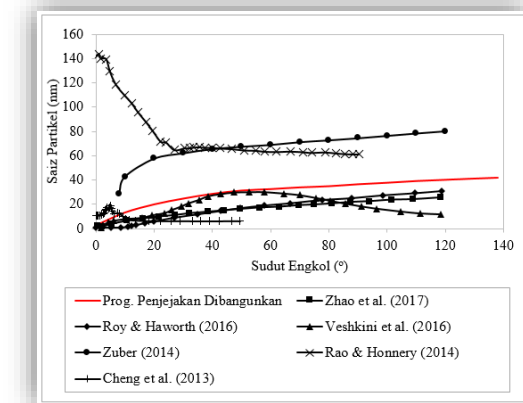
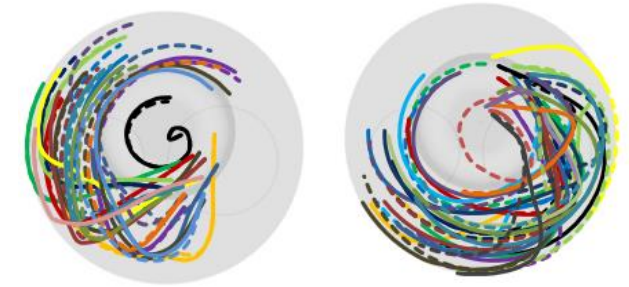
Kesan termoforesis ke atas evolusi saiz dan taburan saiz partikel jelaga menunjukkan purata saiz partikel jelaga yang diperolehi daripada kajian penjejakan ini adalah dalam julat pertengahan berbanding dengan kajian-kajian terdahulu



Kedudukan akhir partikel yang dijejak dengan faktor termoforesis lebih cenderung untuk menghampiri dinding silinder.



Mengesahkan program penjejakan yang dibangunkan mempunyai tahap kebolehpercayaan yang tinggi untuk mengkaji evolusi dan taburan saiz partikel jelaga.



● <10 nm ● 10-50 nm ● >50-100 nm ● >100 nm

KESIMPULAN

- ✓ **Pengukuran saiz partikel jelaga** berasaskan teknik pensampelan secara termoforesis pada grid TEM di pancarongga ekzos telah berjaya dibangunkan dan dijadikan penentusahan kepada keputusan simulasi.
- ✓ **Taburan saiz partikel jelaga** ketika EVO telah berjaya disahkan dengan keputusan eksperimen apabila menunjukkan corak taburan saiz yang hampir sama iaitu taburan tertinggi yang diperolehi adalah dalam julat saiz 11-30 nm. Begitu juga jisim jelaga yang diperolehi menunjukkan perbezaan dalam julat 5-13% dengan kaedah bereksperimen bagi semua keadaan operasi enjin dengan beban berbeza.
- ✓ **Taburan saiz, jisim dan ketumpatan bilangan partikel jelaga** yang diperolehi melalui kaedah simulasi berkomputer telah berjaya dipaparkan menggunakan perisian pasca-pemprosesan, ENSIGHT v10.1.
- ✓ Algoritma termoforesis telah berjaya dibangunkan dan diaplikasikan bersama dengan teknik interpolasi RBF bagi meningkatkan ketepatan rutin **penjejakan partikel jelaga** di dalam silinder enjin dengan pengaturcaraan Matlab.



SUMBANGAN KEPADA BIDANG PENYELIDIKAN



Teknik pensampelan termoforesis pada grid TEM di saluran ekzos telah berjaya dibangunkan & dijadikan sebagai penentusahan kepada kajian secara simulasi berkomputer pada masa akan datang, lebih mudah untuk dikendalikan, kos yang lebih rendah.



Tatacara mengekstrak dan menukar data-data CFD untuk digunakan ke dalam program penjejakan partikel telah berjaya dioptimumkan dan boleh dijadikan sebagai satu standard.

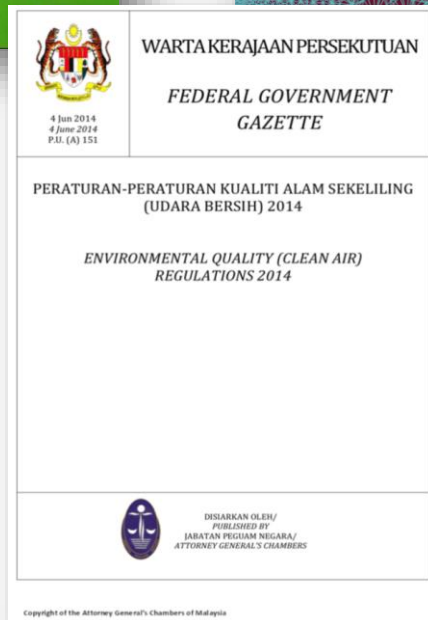
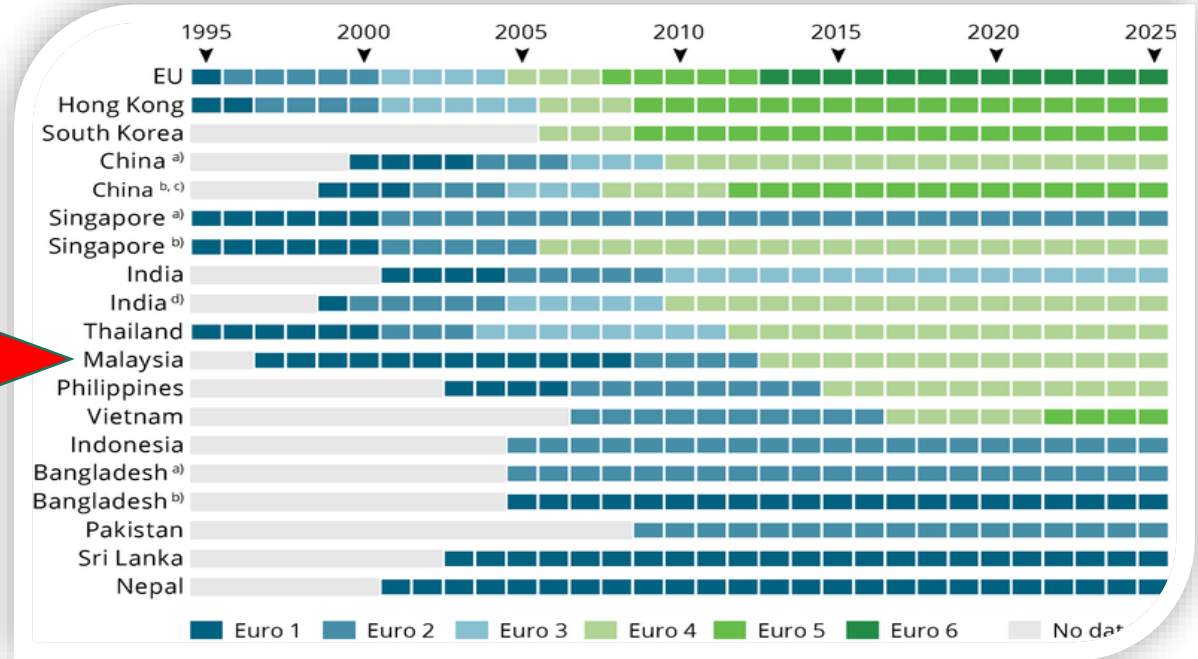
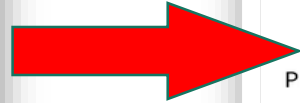
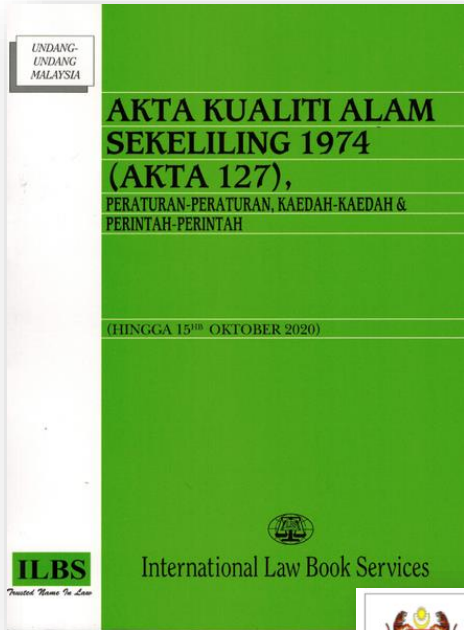


Pengesahan ke atas jumlah tekanan dalam silinder, taburan saiz dan jumlah jisim partikel jelaga telah berjaya membuktikan model jelaga yang dipilih serta penetapan kes bagi kajian ini adalah tepat dan menghampiri keadaan sebenar dalam enjin.



Algoritma termoforesis dan interpolasi RBF telah berjaya dibangunkan & diaplikasikan ke dalam rutin penjejakan partikel jelaga supaya analisis trajektori, evolusi dan taburan saiz partikel jelaga di dalam silinder enjin lebih tepat dan lebih fleksibel.

SUMBANGAN KEPADA DASAR KERAJAAN



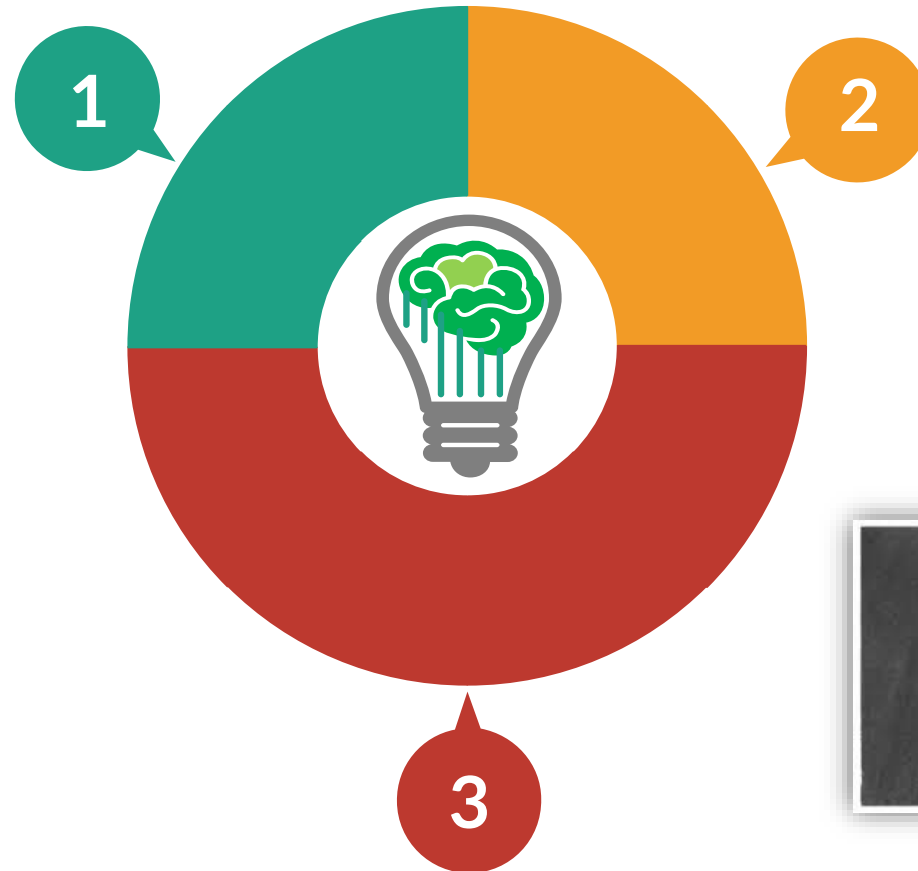
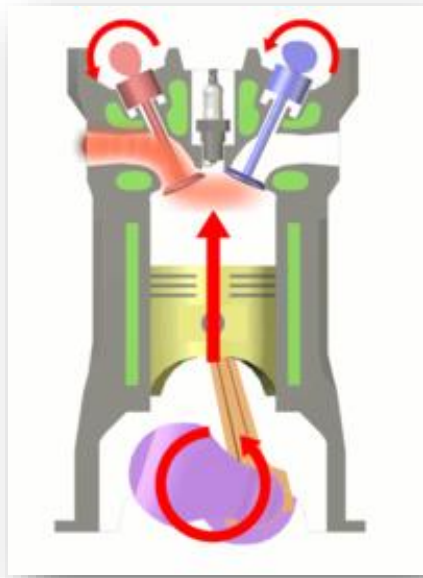
Piawai peraturan pencemaran udara di negara-negara Eropah

Piawai	Tarikh Berkuatkuasa	NO _x (g/km)	CO (g/km)	Jisim Jirim Zarah (g/km)	Kuantiti Jirim Zarah (#/km)
Euro 1	Julai 1992	-	2.72	0.140	-
Euro 2	Januari 1996	-	1.00	0.080	-
Euro 3	Januari 2000	0.50	0.64	0.050	-
Euro 4	Januari 2005	0.25	0.50	0.025	-
Euro 5a	September 2009	0.18	0.50	0.050	-
Euro 5b	September 2011	0.18	0.50	0.050	6×10 ¹¹
Euro 6	September 2014	0.08	0.50	0.005	6×10 ¹¹

Sumber: ECOpoint Inc. 2018

CADANGAN PENYELIDIKAN AKAN DATANG

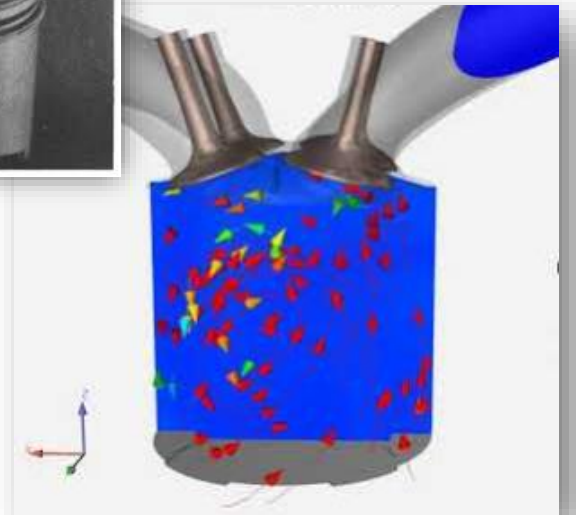
Melaksanakan kajian simulasi pada **kitaran enjin yang lebih lengkap** dan perubahan parameter operasi enjin yang lebih menyeluruh.



Menjalankan kajian simulasi yang lebih mendalam terhadap partikel jelaga yang berada **berdekatan dengan dinding silinder**.



Melaksanakan program penjejakan partikel jelaga dengan **titik penjejakan yang lebih banyak dan rutin** pengiraan saiz serta jisim partikel jelaga yang **lebih terperinci** untuk mendapatkan data taburan jelaga yang lebih tepat dan menyeluruh.



PENERBITAN & PERSIDANGAN

Senarai Penerbitan

- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2015. A review of soot particle measurement in lubricating oil. *Defence S&T Technical Bulletin* 8(2): 141–152.
- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2016. Soot particle measurement in engine cylinder: A review. *Jurnal Teknologi* 78(8): 187–195.
- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2016. Numerical investigation of soot mass concentration in compression ignition diesel engine. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 10(3): 2275–2287.
- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2017. Comparison of simple and detailed soot models in the study of soot formation in a compression ignition diesel engine. *SAE International No. 2017-01-1006*.
- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2018. Study on soot mass fraction and size distribution in a direct injection diesel engine using Particulate Size Mimic soot model. *J. Thermal Sci. Eng. Appl*, (Accepted Manuscript); doi: 10.1115/1.4040993.

Senarai Persidangan

- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2015. Investigation of soot emission in compression ignition diesel engine by CFD simulation. *3rd International Conference on Recent Advances in Automotive Engineering & Mobility Research (ReCAR 2015), 1st - 3rd December 2015, Melaka, Malaysia*.
- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2017. Numerical investigation on soot particles emission in compression ignition diesel engine by using particulate mimic soot model. *MATEC Web of Conferences - 2nd International Conference on Automotive Innovation and Green Energy Vehicle (AIGEV 2016), 2nd - 3rd August 2016, Cyberjaya, Malaysia. Vol. 90*.
- Andi, N. A., Wan Mahmood, W. M. F., **Ibrahim, F.** & Ab Rahman, M. N. 2016. Measurement of mass and size of soot emission from direct injection diesel engine. *Proceedings of the 5th International Technical Conference (ITC2016)*, hlm. 219–226.
- **Ibrahim, F.,** Wan Mahmood, W. M. F., Abdullah, S. & Abu Mansor, M. R. 2016. Investigation of soot particles in compression ignition diesel engine by CFD simulation using different level of complexity of soot models. *FISITA 2016 World Automotive Congress, 26th - 30th September 2016, Busan, Korea*.



TERIMA KASIH