

## Pemodelan dan Ekperimental Performa Variasi Tekanan Kerja Injektor Mesin Diesel Induk Kapal terhadap Bentuk Semburan Nosel dan Temperatur Gas Buang Tiap Silinder

WA Putranto<sup>1\*</sup>, Khaeroman<sup>1</sup>, Susanto<sup>1</sup>, Agung Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknika, Jurusan Teknika, Politeknik Maritim Negeri Semarang  
Jl. Pawayatan Luhur I/1, Bendanduwur, Semarang.

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang  
Jl Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang.

\*Email: wahyu\_ap@polimarin.ac.id

### Abstrak

Mesin diesel induk adalah sebuah mesin penggerak utama yang berfungsi untuk menggerakkan kapal. Mesin diesel termasuk jenis mesin pembakaran dalam (internal combustion engine). Proses penyalaan pembakaran dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sebagai akibat dari kompresi. Injektor adalah alat yang digunakan untuk mengkabutkan bahan bakar. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan parameter yang optimum pada performa tekanan kerja injektor. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental dan pemodelan. Data yang diperoleh adalah sudut semprotan, panjang semprotan, waktu semprotan dan jumlah partikel yang disemburkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan pengujian injektor secara eksperimental dan simulasi menggunakan software CFD. Parameter tekanan input injektor adalah 280, 300, 320 bar sedangkan diameter nosel 0,3 mm. Data yang diperoleh di kapal kemudian dilakukan pengujian secara eksperimental dan simulasi. Pada penelitian ini ada 3 parameter injektor yang diuji. Hasil pengujian dari ketiga parameter pada injektor diperoleh data optimum yaitu pada tekanan kerja 320 bar diameter nosel 0,3 mm menghasilkan sudut semprotan 14°, Panjang semprotan 100 mm dengan waktu tercepat yaitu 0,00143 sekon sehingga menghasilkan kecepatan sebesar 69930,07 mm/s. Jumlah partikel yang dihasilkan sebesar  $1.185071 \times 10^3$  maka proses pengkabutan sempurna (semburan merata ke segala arah) dan temperatur gas buang silindernya adalah 340-360°C.

**Kata Kunci:** Injektor, Tekanan Kerja, Sudut Semburan, Waktu Semburan, Ukuran Partikel

### Abstract

The main diesel engine is a main propulsion engine that functions to move the ship. Diesel engines include the type of internal combustion engine (internal combustion engine). The combustion ignition process is carried out by spraying fuel into pressurised and high-temperature air due to compression. An injector is a device used to fog fuel. The purpose of this study is to obtain optimal parameters for the performance of the injector's working pressure. The methods used in this study are experimental and modelling. The data obtained are spray angle, length, time, and number of particles sprayed. The method used in this study is by testing injectors experimentally and simulating using CFD software. The injector input pressure parameters are 280, 300, and 320 bar while the nozzle diameter is 0.3 mm. The data obtained on the ship was then tested experimentally and simulated. In this study, there were 3 injector parameters tested. The test results of the three parameters on the injector obtained optimum data, namely at a working pressure of 320 bar nozzle diameter of 0.3 mm resulting in a spray angle of 14°, spray length of 100 mm with the fastest time of 0.00143 seconds to produce a speed of 69930.07 mm / s. The number of particles produced is  $1.185071 \times 10^3$ , so the fogging process is perfect (bursts evenly in all directions) and the temperature of the cylinder exhaust gas is 340-360°C.

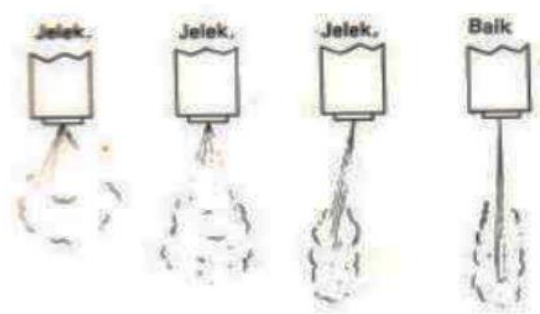
**Keywords:** Injector, Working Pressure, Burst Angle, Burst Time, Particle Size

## PENDAHULUAN

Mesin induk diesel ialah sebuah mesin penggerak utama yang dipergunakan untuk menggerakkan kapal dengan mesin pembakaran dalam / *internal combustion engine*. Tenaga yang dihasilkan berasal dari proses pembakaran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar, yaitu ruangan yang dibatasi oleh oleh dinding silinder, kepala torak dan kepala silinder (Allister dkk, 2013).

Alat yang digunakan untuk mengabutkan bahan bakar adalah *Injector*. Untuk menjaga agar *Injector* selalu dapat mengabutkan bahan bakar dengan sempurna maka harus dilakukan perawatan secara rutin dan terencana sesuai dengan *instruction manual book* sehingga proses pembakaran dalam ruang silinder dapat maksimal (Nurbidawati, 2019).

Bentuk-bentuk kabutan yang keluar dari injektor pada proses injeksi ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil yang baik pada proses injeksi ditunjukkan pada gambar paling kanan, sehingga memiliki daya penetrasi yang baik dan juga homogenitas kabutan yang baik.



**Gambar 1. Bentuk hasil kabutan atau atomisasi bahan bakar yang keluar dari injektor (Astra Motor,1980)**

Permasalahan yang terjadi ketika temperatur gas buang terlalu tinggi disebabkan karena *Injector* mengeluarkan bahan bakar tidak pada waktunya, biasanya permasalahan ini disebabkan oleh celah antara *nozzle needle* dengan *nozzle holder* terlalu renggang sehingga *supply* bahan bakar melebihi yang dibutuhkan mesin induk diesel (Ridwan dkk, 2020).

Perawatan berkala bisa dilakukan dengan memeriksa kondisi komponen-komponen pada pompa injeksi misalnya memeriksa kondisi komponen secara visual. Tentunya hal ini perlu pembongkaran pompa injeksi tersebut. Namun kini ada teknologi baru yang diciptakan untuk mendeteksi batas pemakaian atau umur pemakaian pompa injeksi dengan cara yang lebih modern yaitu menggunakan sinyal emisi akustik, sehingga tahu kapan saatnya diperbaiki (Bejger dan Drzewieniecki, 2020).

Tidak optimalnya kerja *Injector* pada mesin induk disebabkan adanya gangguan pada komponen-komponen utama *Injector* yaitu pegas penekan jarum tidak bekerja sehingga terjadi penurunan tekanan *fuel injection pump*, kedudukan *needle* pada *nozzle* tidak normal, lubang pengabut tertutup arang.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisa eksperimental dan simulasi performa tekanan kerja injektor (280, 300, 320 bar) dan diameter nosel injektor 0,3 mm pada mesin diesel kapal. Pada penelitian ini ada 3 parameter injektor yang diuji. Ketiga parameter injektor tersebut yang diuji adalah tekanan kerjanya kemudian dilihat performa kerjanya yang dihasilkan dengan melihat bentuk pengkabutan yang terjadi (sudut pengkabutan, panjang dan waktu semburan) dan temperatur gas buang silinder yang dihasilkan

Kusuma dan Budiarsa (2015), melakukan pengujian pengaruh tekanan injektor/nosel terhadap karakteristik semprotan. Adapun variasi tekanan nosel 90 bar, 100 bar, 110 bar, 120 bar, dan 130 bar (range tekanan kerja nosel dari pabrik) dengan menggunakan solar (100%), biodisel nyamplung 100% dan biodisel nyamplung 5 % + solar 95%. Dari pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan data pada tekanan nosel 120 bar BD 5% memiliki karakteristik yang paling mendekati D 100% (solar) baik dari kecepatan semprotan, sudut semprotan maupun jumlah butirannya.

Budianto dkk 2019), melakukan pengujian karakteristik pengabutan (*spray*) terhadap variasi campuran biodiesel

dilakukan pada *nozzle burner* kapasitas 10 kg/jam. Ada 4 variasi sampel uji bahan bakar yang dites dalam uji *spray* antara lain *HSD (B0)*, *10% biodiesel (B10)*, *20% biodiesel (B20)*, *30% biodiesel (B30)* and *100% biodiesel (B100)*. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar kandungan campuran biodiesel maka besar sudut pengabutan semakin sempit dan jarak pengabutan semakin jauh. Besarnya sudut penyemprotan pada masing-masing sampel B0, B10, B20, B30 dan B100 adalah 52°, 48°, 46°, 43°, 41°, sedangkan panjang jarak *spray* masing-masing sebesar 20 cm, 23 cm, 25 cm, 27 cm, 30 cm.

Surya (2022), melakukan penelitian injektor untuk mengetahui pengaruh tekanan injeksi terhadap karakteristik semprotan biodiesel minyak goreng bekas. Variasi tekanan injeksi 150, 175, 200 bar, diameter nosel 0,2 mm. Semprotan biodiesel Minyak Goreng Bekas menumbuk dinding piston hanya terjadi pada tekanan injeksi 175 dan 200 bar. Droplet kecil muncul akibat tekanan injeksi yang tinggi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian injektor ini menggunakan metode kuantitatif dengan cara eksperimental dan simulasi. Parameter pada penelitian ini adalah tekanan injektor sebesar 280, 300, 320 bar. Diameter nosel 0,3 mm. Pengujian injektor dilaksanakan di laboratorium *real engine*. Gambar 2 adalah gambar injektor yang diuji.



Gambar 2. Injektor

Penelitian simulasi dilakukan dengan metode numerik 2 dimensi yang menggunakan *software* CFD komersial. Model injektor yang digunakan dalam

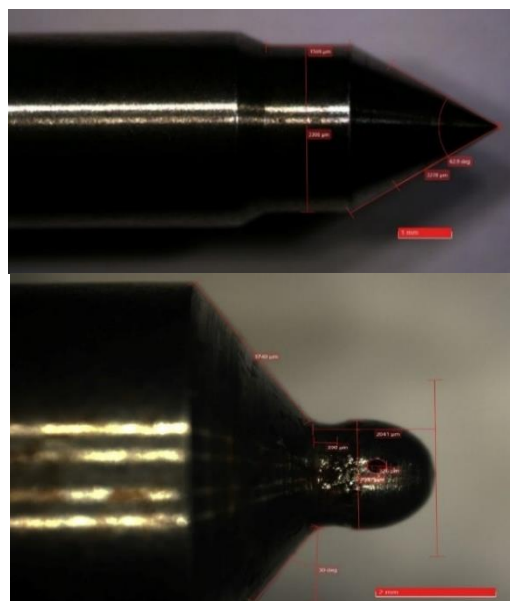
simulasi ini adalah model injektor (*base model*) berdasarkan injektor aslinya. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu:

### a. Pembuatan model injektor

Pada tahap ini injektor diukur dimensinya dan dilanjutkan dengan pembuatan sket gambar selanjutnya digambar menggunakan *software solidwork*. Untuk mengetahui dimensi injektor yang kecil dilakukan pengukuran menggunakan alat mikroskop makro. Adapun bagian injektor yang dilihat dan diukur adalah nosel *needle* dan nosel.



Gambar 3. Nosel *needle* dan nosel



Gambar 4. Nosel *needle* dan nosel pada mikroskop makro

### b. Pengujian dengan *injektor pressure tester*

Pengujian injektor secara eksperimental dilakukan memakai *injektor pressure tester*. Injektor diuji pada variasi

tekanan 280, 300, 320 bar. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sudut dan panjang semprotan pada nosel. Data ini nantinya akan digunakan sebagai validasi pada pengujian simulasi injektor.



Gambar 5. Semprotan nosel

c. Pengujian menggunakan *software* CFD

Pada tahap ini pengujian injektor secara simulasi menggunakan *software* CFD komersial *Fluent*. Proses pengujian dimulai dengan memasukkan gambar dari *solidwork* kemudian dilanjutkan proses *meshing*. Proses *meshing* ini berhasil jika dicek pada bagian *statistik* terlihat nodes 22876 dan *elements* 22500. *Turbulence model* pada penelitian ini menggunakan *k-epsilon* (2 eqn). Fluida yang dipakai adalah *diesel-liquid* ( $C_{10}H_{22}$ ) dengan nilai *properties density* ( $\rho$ ) = 730 kg/m<sup>3</sup>; *viscosity* = 0,0024 kg/ms, *droplet surface tension* = 0,0263257 N/m, *material type inert-particle*. *Flow rate* 0,00225 kg/s, *vapor pressure* = 2,8 x 10<sup>7</sup>; 3,0 x 10<sup>7</sup>; 3,2 x 10<sup>7</sup> Pascal, *injector inner diameter* = 0,3 mm. *Start time* = 0 s, *stop time* = 100 s.

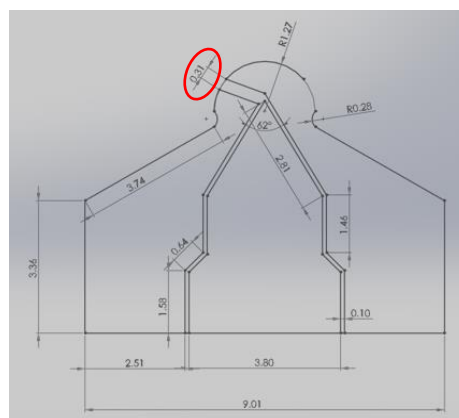
*Solution methods* yang digunakan dalam simulasi ini untuk *pressure-velocity coupling* adalah *coupled*, *turbulent kinetic energi* adalah *first order upwind*, *turbulent dissipation rate* adalah *first order upwind*, dengan kriteria konvergen sebesar 10<sup>-5</sup> pada kondisi *transient*. Karena *transient* maka menggunakan *time step* 10000 kali dengan *number of time step* 500, *time step size* 5x10<sup>-6</sup> detik. *Maks iterations/ time step* 10.

d. Pengambilan data hasil pengujian

Tahap ini adalah proses menampilkan hasil serta analisa terhadap hasil yang diperoleh. Adapun data yang akan diambil antara lain sudut semprotan, panjang semprotan dan jumlah partikel tiap semprotan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan penelitian ini dimulai dengan membuat gambar sketsa injektor yang mempunyai diameter nosel 0,3 mm ke gambar *solidwork*. Berikut adalah hasil gambar injektor di *solidwork*.



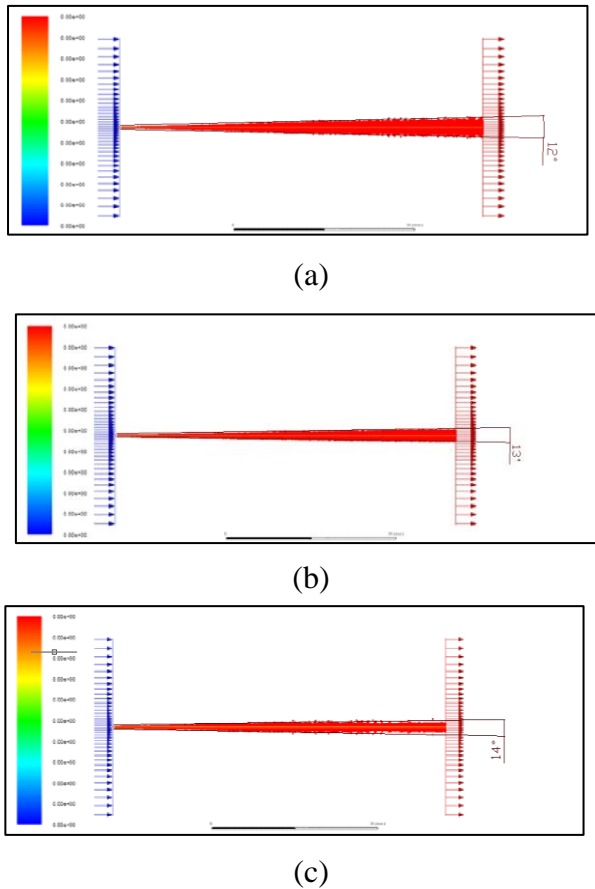
Gambar 6. Sketsa injektor dengan diameter nosel 0,3 mm

Gambar injektor di *solidwork* yang telah dibuat kemudian digunakan pada proses simulasi dengan metode CFD menggunakan *software* *Ansys*. Fokus dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh tekanan injektor (280, 300, 320 bar) dengan diameter nosel 0,3 mm yang dapat memberikan performansi paling optimal. Data-data yang ditampilkan berupa sudut semburan, panjang semburan, waktu semburan dan jumlah partikel yang disemurkan.

### Pengaruh Tekanan injektor (280, 300 dan 320 bar) dengan diameter nosel 0,3 mm terhadap sudut semburannya

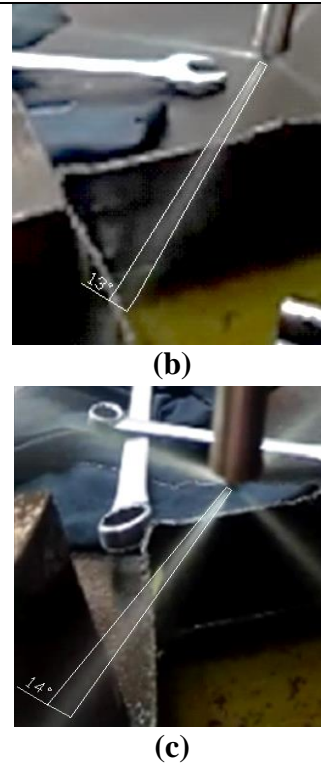
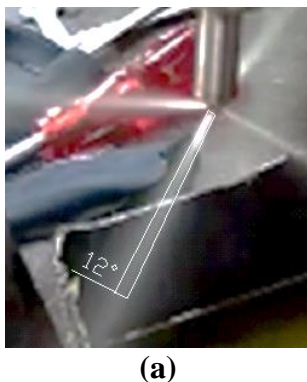
Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software* *Ansys* dengan variasi tekanan injektor (280, 300, 320 bar) dan diameter nosel 0,3 mm maka didapatkan

data-data semburan fluidanya. Semburan fluida tersebut membentuk sudut yang bervariasi dan bisa dilihat pada gambar 7 berikut ini.



**Gambar 7** Sudut semburan injektor pada tekanan (a) 280 bar, (b) 300 bar, (c) 320 bar

Pengujian eksperimen dilakukan pada injektor menggunakan *injektor pressure tester* untuk mengetahui sudut semburan. Pengujian ini digunakan untuk validasi pengujian simulasi. Data hasil pengujian eksperimen bisa dilihat pada gambar 8.



**Gambar 8.** Sudut semburan injektor pada tekanan a) 280 bar, b) 300 bar, c) 320 bar pada injektor sebenarnya.

Data pengujian sudut semburan injektor simulasi dan eksperimen kemudian dibuat tabel. Tabel tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Dari tabel 1 maka terlihat semakin besar tekanan yang disetting pada injektor menunjukkan semakin besar sudut semburannya pada diameter nosel yang sama. Ini dapat dilihat pada tekanan 280, 300, 320 bar dengan diameter nosel 0,3 mm menghasilkan sudut semburan berturut-turut dari 12°, 13°, 14°.

**Tabel 1. Sudut semburan injektor**

No.	Tekanan (bar)	Diameter nosel (mm)	Sudut semburan (°) simulasi	Sudut semburan (°) eksperimen
1	280	0,3	12	12
2	300	0,3	13	13
3	320	0,3	14	14

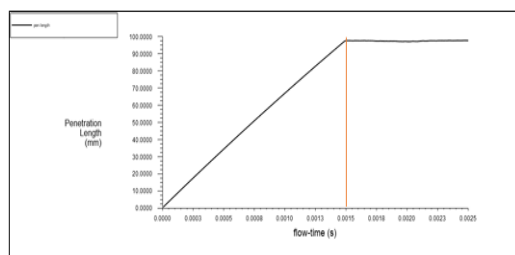
Tekanan injeksi semakin tinggi akan memperbesar sudut semprotan saat *primary breakup* dan meningkatkan panjang penetrasi karena droplet memiliki

momentum lebih besar untuk mengatasi gaya aerodinamik (Surya, 2022).

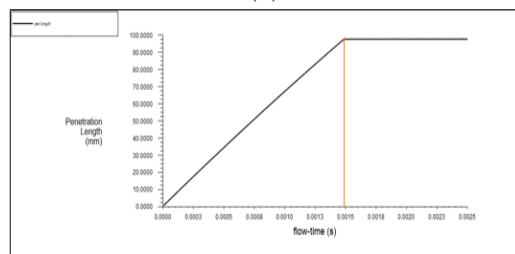
**Pengaruh Tekanan injektor (280, 300, dan 320 bar) dan diameter nosel 0,3 mm terhadap panjang dan waktu semburannya**

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software Ansys* dengan tekanan injektor (280, 300, 320 bar) dan diameter nosel 0,3 mm maka didapatkan data-data pajang semburan fluida dan waktunya. Pada simulasi ini dimodelkan ruangan berupa persegi panjang dengan ukuran 100 x 50 mm.

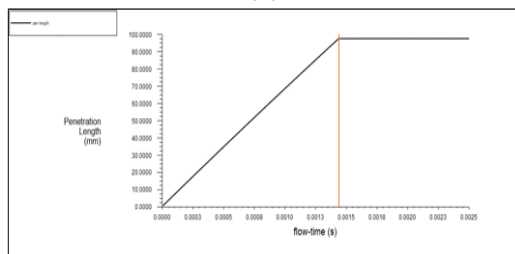
Panjang semburan fluida tersebut membutuhkan waktu yang bervariasi untuk mencapai dinding pembatasnya dan bisa dilihat pada gambar 9 berikut.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 9. Panjang semburan injektor dan waktunya pada tekanan a) 280 bar, b) 300 bar, c) 320 bar**

Tabel 2 menunjukkan panjang semburan injektor dan waktu yang

dibutuhkan sampai menempel dinding pada variasi tekanan injektor (280, 300, 320 bar) dan diameter nosel 0,3 mm. Tabel tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

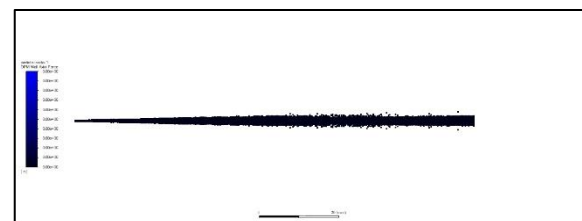
**Tabel 2. Panjang, waktu semburan**

No	Tekanan (bar)	Diameter nosel (mm)	Waktu semburan (sekon)	Panjang semburan (mm)	Kecepatan semburan (mm/s)
1	280	0,3	0,00150	100	66666,67
2	300	0,3	0,00148	100	67567,57
3	320	0,3	0,00143	100	69930,07
4	280	0,2	0,00189	100	52910,05
5	300	0,2	0,00187	100	53475,94
6	320	0,2	0,00186	100	53763,44

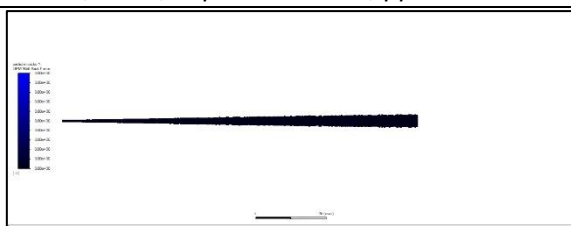
Dari tabel 2 di atas maka terlihat semakin besar tekanan yang disetting pada injektor pada diameter nosel yang sama menunjukkan semakin cepat waktu semburannya menyentuh dinding. Ini dapat dilihat pada tekanan 280, 300, 320 bar pada diameter nosel 0,3 mm diperoleh waktu semburan berturut-turut dari 0,00150; 0,00148; 0,00143 sekon. Hal ini terjadi karena tekanan injeksi tinggi akan menambah momentum droplet untuk mengatasi gaya aerodinamik yang ditimbulkan udara (surya, 2022).

**Pengaruh tekanan injektor (280, 300, dan 320 bar) dan diameter nosel 0,3 mm terhadap jumlah partikel semburannya**

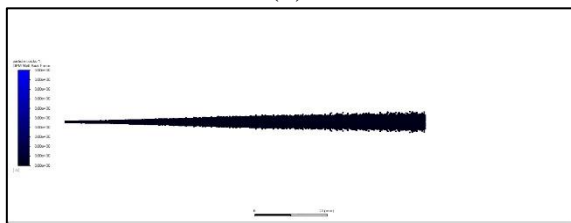
Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software Ansys* dengan tekanan injektor (280, 300, dan 320 bar) dan diameter 0,3 mm maka didapatkan data-data jumlah partikel yang disemburkan. Jumlah partikel yang disemburkan tersebut bervariasi bisa dilihat pada gambar 10.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 10. Jumlah prtikel yang disemburkan injektor pada tekanan (280, 300 dan 320 bar) dengan diameter nosel 0,3 mm**

Tabel 3 menunjukkan jumlah partikel yang disemburkan injektor pada variasi tekanan injektor.

Dari tabel 3 terlihat injektor dengan variasi tekanan 280, 300, 320 bar menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan tetapi akan mengalami perubahan jika lubang nosel tersebut kemungkinan ada kotoran atau pengecilan ukuran diameter nosel.

**Tabel 3. Jumlah partikel yang disemburkan injektor**

No.	Tekanan (bar)	Ø nosel (mm)	Jumlah total partikel	Total massa (kg)
1	280	0,3	1.185071e+03	3.472988e-06
2	300	0,3	1.185071e+03	3.472988e-06
3	320	0,3	1.185071e+03	3.472988e-06
No.	Tekanan (bar)	Ø nosel (mm)	Ø maks partikel (mm)	Ø min partikel (mm)
1	280	0,3	2.477685e-04	4.839672e-05
2	300	0,3	2.477685e-04	4.839672e-05
3	320	0,3	2.477685e-04	4.839672e-05

Ketika ukuran diameter lubang nosel meningkat maka ukuran tetesan bahan bakar meningkat sehingga jumlah partikel dan ukuran partikel juga ikut meningkat yang menyebabkan atomisasi pencampuran dan pembakaran yang buruk, dan dengan demikian tekanan di dalam silinder menurun selama seluruh siklus dan akibatnya mengurangi tekanan efektif mesin (Priyanka dan Mallikarjuna, 2018).

### Tekanan Injektor Terhadap Temperatur Gas Buang di Kapal

Pada tabel 4 dibawah ini adalah data dari tekanan injektor terhadap temperatur gas buang tiap *cylinder* pada keadaan normal dan tidak normal saat pelayaran dari Teluk Bayur (Padang) ke Ciwandan (Merak)

**Tabel 4. Tekanan injektor terhadap temperatur gas buang**

No Cylinder	Temperatur gas buang (°C)	Tekanan Injektor (bar)
1	350	320
2	348.3	320
3	<b>308.3</b>	<b>300</b>
4	355	320
5	360	320
6	355	320
7	351.6	320

Pada Tabel 4 menjelaskan bahwa injektor pada pelayaran ini dalam keadaan normal dan tidak normal. Ini bisa dilihat dari temperatur gas buang dalam 24 jam jaga selama berlayar 3 hari dari Teluk Bayur (Padang) ke Ciwandan (Merak). Mesin induk diesel menghasilkan temperatur gas buang yang bervariasi. Temperatur gas buang normal adalah pada temperatur 340 – 360°C. Dari tabel 4 tersebut terlihat pada silider 3 menunjukkan keadaan tidak normal temperatur gas buangnya sebesar 308,3°C, hal tersebut ternyata diakibatkan penurunan tekanan injektor yang seharusnya 320 bar menjadi 300 bar. Penurunan tekanan

tersebut terjadi karena lubang nosel injektor kotor atau terjadi sumbatan.

Tekanan injeksi bahan bakar yang tinggi berdampak pada atomisasi bahan bakar semakin baik dan pembakaran menjadi lebih sempurna sehingga daya efektif yang dihasilkan mesin semakin tinggi yang berakibat pada tingginya nilai torsi yang dihasilkan (Ahmad dan Sudarmanta, 2017).

## SIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dibahas pada penelitian injektor dengan tekanan 280, 300, 320 bar dan diameter nosel 0,3 mm maka diperoleh sudut semprotan injektor yang optimum adalah  $14^\circ$ , terjadi pada tekanan 320 bar. Panjang semprotan injektor yang optimum terjadi pada semua variasi tekanan, bisa mencapai dinding yang berjarak 100 mm. Tetapi untuk mencapai dinding yang paling cepat terdapat pada tekanan 320 bar yaitu 0,00143 sekon sehingga menghasilkan kecepatan sebesar 69930,07 mm/s. Tekanan setingan injektor yang optimum pada penelitian ini dipilih pada setingan tekanan 320 bar.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Bejger and J. B. Drzewieniecki. (2020). A new method of identifying the limit condition of injection pump wear in self-ignition engines. *Energies*, vol. 13, no. 7.
- Arizal Sita Ahmad dan Bambang Sudarmanta. (2017). Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Dual Fuel Dengan Variasi Tekanan Penginjeksian Pada Injektor Mesin Yanmar TF 55R-Di. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 4, No. 1.
- Dwika Budianto, Ilham Arnif, dan Cahyadi. (2019). Study of *Spray* Characteristic on Biodiesel Mixture Variation. *Prosiding SNTTM XVIII, 9-10 Oktober 2019, KE43*.
- I Wayan Suma Wibawa<sup>1</sup>, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan I Nyoman Budiarsa<sup>1</sup>. (2015). Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap

Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel. *Jurnal METTEK* Volume 1 No 2 pp 35 – 44.

- I Gede Teddy Prananda Surya. (2022). Simulasi Numerik I: Pengaruh Tekanan Injeksi Terhadap Karakteristik Semprotan Biodiesel Minyak Goreng Bekas. *Machine; Jurnal Teknik Mesin* Vol. 8 No. 2.
- Nurbidawati, N. (2019). Posisi Strategis Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia.
- Priyanka D. Jadhav & J. M. Mallikarjuna. (2018). Effect Of Fuel Injector Hole Diameter And Injection Timing On The Mixture Formation In A Gdi Engine - A Cfd Study. *P. D. Jadhav & J. M. Mallikarjuna, Int. J. Comp. Meth. And Exp. Meas., Vol. 6, No. 4 (2018) 737-748*.
- PT. Toyota Astra Motor. (1980). Toyota Diesel Engine, Service Training Information. Japan: Toyota Motor Sales CO.LTD, Japan.
- Ridwan, Zakiah dan Ardiansya. (2020). Analisa Penurunan Daya yang Dihasilkan Mesin Bantu Guna meningkatkan Operasional Kapal di MT. Dewi Maeswara. *Prosiding Seminar Pelayaran dan Riset Terapan*.
- S. McAllister, J.-Y.Chen, and C. Fernandez-Pello. (2013). *Fundamentals of Combustion Processes*. Springer.