

SIMULASI DAN EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TEKANAN INJEKSI BAHAN BAKAR DIESEL LIQUID PADA MESIN INDUK KAPAL TERHADAP KARAKTERISTIK SEMPROTAN INJEKTOR

WA Putranto*, Khaeroman, Susanto, Arif Rakhman Suharso

Program Studi Teknika, Jurusan Teknika, Politeknik Maritim Negeri Semarang
Jl. Pawiyatan Luhur I/1, Bendanduwur Semarang 50233.

*Email: wahyu_ap@polimarin.ac.id

Abstrak

Mesin diesel banyak diaplikasikan pada dunia industri dan transportasi karena keandalannya. Di dunia transportasi laut mesin diesel digunakan sebagai mesin induk kapal yang berfungsi untuk menggerakkan kapal. Salah satu komponen yang penting mesin diesel adalah injektor yang bertugas untuk menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar. Apabila terjadi masalah pada injektor maka akan berpengaruh pada proses pembakaran sehingga dapat menurunkan kinerja mesin induk kapal. Parameter pada penelitian ini adalah diameter nosel sebesar 0,2 mm. Variasi tekanan input yang digunakan adalah 290, 310, 330 bar. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh parameter tekanan injektor yang optimum. Data yang diperoleh adalah sudut semprotan, panjang semprotan dan waktu semprotan. Metode penelitian adalah simulasi dan eksperimen. Simulasi menggunakan software CFD komersial sedangkan eksperimen dengan menguji injektor menggunakan injektor tester. Hasil pengujian variasi tekanan injektor 290, 310 dan 330 bar diperoleh data-data sudut semprotan masing-masing sebesar 13°, 14°, 15°. Panjang semprotan semuanya sama 100 mm tetapi waktu yang diperlukan untuk menyentuh dinding berbeda-beda, masing-masing 0,00199; 0,00197; 0,00195 sekon. Parameter optimum pada penelitian ini adalah tekanan input injektor 330 bar menghasilkan sudut semprotan 15°, Panjang semprotan 100 mm dengan waktu tercepat yaitu 0,00195 sekon.

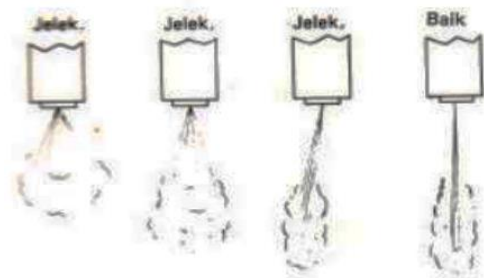
Kata kunci: diesel, injektor, karakteristik semprotan, nosel, tekanan.

PENDAHULUAN

Mesin diesel banyak diaplikasikan pada dunia industri dan transportasi karena keandalannya. Di dunia transportasi laut mesin diesel digunakan sebagai mesin induk kapal yang berfungsi untuk menggerakkan kapal. Tenaga yang dihasilkan berasal dari proses pembakaran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar yaitu ruangan yang dibatasi oleh dinding silinder, kepala torak dan kepala silinder (Allister dkk, 2013).

Salah satu komponen yang penting mesin diesel adalah injektor yang bertugas untuk menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar pada saat proses pembakaran. Apabila terjadi masalah pada injektor maka akan berpengaruh pada proses pembakaran sehingga dapat menurunkan kinerja mesin induk kapal maka perawatan secara rutin dan terencana sesuai dengan instruksi pada *manual book* sehingga proses pembakaran dalam ruang silinder dapat maksimal (Nurbidawati, 2019).

Permasalahan yang sering terjadi pada injektor adalah *supply* bahan bakar melebihi batas yang dibutuhkan mesin induk, hal tersebut terjadi karena celah antara *nozzle needle* dengan *nozzle holder* terlalu renggang sehingga berdampak pada peningkatan temperatur gas buang mesin induk (Ridwan dkk, 2020).



Gambar 1. Bentuk hasil atomisasi bahan bakar oleh injektor (Astra Motor, 1980)

Hasil yang baik pada proses injeksi ditunjukkan pada gambar paling kanan, karena menghasilkan daya penetrasi dan homogenitas

kabut yang baik. Bentuk-bentuk kabut yang disemprotkan injektor pada proses injeksi ditunjukkan pada Gambar 1.

Tidak optimalnya kerja injektor pada mesin induk disebabkan adanya gangguan pada komponen-komponen utama *injektor* seperti pegas penekan jarum tidak bekerja sehingga terjadi penurunan tekanan *fuel injection pump*, kedudukan *needle* pada *nozzle* tidak normal, lubang pengabut tertutup arang (Bejger dan Drzewieniecki, 2020).

Kusuma dan Budiarsa (2015), melakukan penelitian karakteristik semprotan yang dihasilkan berdasarkan variasi tekanan injektor/nosel. 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%), biodiesel nyamplung 100% dan biodiesel 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 dan sudut semprotan juga jumlah butiran yang disemprotkan.

Budianto dkk (2019), juga menguji 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)*. Analisa hasil terlihat semakin besar kandungan campuran biodiesel berdampak pada pengecilan sudut pengabutan maka jarak pengabutan semakin jauh. Sebagai contoh B10 dan B30, masing-masing sampel menghasilkan sudut dan panjang semprotan 48°, 23 cm dan 43°, 27 cm.

Surya (2022), juga melakukan penelitian yang sama tetapi menggunakan fluida biodiesel minyak goreng bekas. Variasi tekanan injeksi 150, 175, 200 bar, diameter nosel 0,2 mm. Hasil penelitian menunjukkan 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.

Tujuan penelitian ini untuk memperoleh parameter tekanan input injektor yang optimum pada mesin induk. Analisa dilakukan secara simulasi dan eksperimen. Parameter tekanan input injeksi adalah 290, 310, 330 bar dan diameter nosel injektor 0,2 mm. Tekanan input

injektor yang bekerja kemudian dilihat hasilnya dengan melihat karakteristik semprotan yang terjadi (sudut semprotan, panjang semprotan dan waktu semprotan).

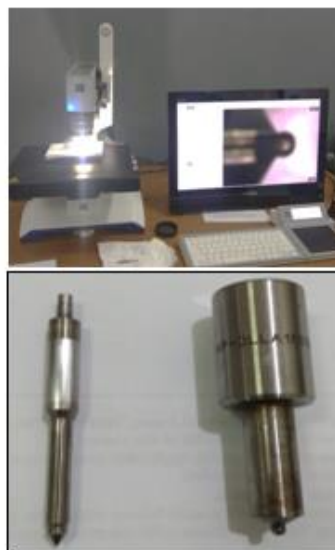
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian injektor dilakukan secara simulasi dan eksperimen. Parameter pada penelitian ini adalah diameter nosel 0,2 mm. Variasi tekanan injektor 290, 310, 330 bar. Injektor yang diuji bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Injektor

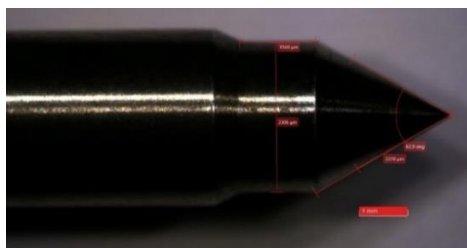
Ada empat tahapan pada pengujian ini, pertama Pembuatan Model Injektor. Tahap ini injektor yang akan diuji dilakukan pengukuran dimensi, pembuatan gambar menggunakan *software Solidworks*.



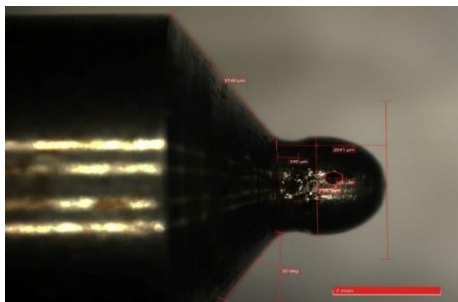
Gambar 3. Nosel *needle* (kiri) dan nosel (kanan)

Tahapan kedua adalah pengujian Simulasi. Penelitian simulasi menggunakan metode numerik 2 dimensi, memakai *software* CFD komersial. Model injektor adalah *base*

model yaitu model injektor berdasarkan injektor aslinya.



(a)



(b)

**Gambar 4. (a). Nosel *needle*,
(b). nosel pada mikroskop makro**

Pengujian ini diawali memasukkan gambar injektor dari *Solidworks* kemudian dilanjutkan proses *meshing*. Proses *meshing* dikatakan berhasil jika pada bagian *statistik* terlihat nodes 22876 dan *elements* 22500.

Aliran fluida adalah *turbulence model* pada penelitian ini menggunakan *k-epsilon* (2 *eqn*). Fluida yang dipakai adalah *diesel-liquid* ($C_{10}H_{22}$) dengan nilai *properties density* (ρ) = 730 kg/m^3 ; *viscosity* = $0,0024 \text{ kg/ms}$, *droplet surface tension* = $0,0263257 \text{ N/m}$, *material type inert-particle*. *Flow rate* $0,00225 \text{ kg/s}$, *vapor pressure* = $2,8 \times 10^7$; $3,0 \times 10^7$; $3,2 \times 10^7 \text{ Pascal}$, *injector inner diameter* = $0,3 \text{ mm}$. *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^{-5} pada kondisi *transient*. *Time step* 10000 kali (*transient*). *Number of time step* 500, *time step size* 5×10^{-6} detik. *Maks iterations/ time step* 10.

Tahapan ketiga adalah pengujian eksperimen pengujian injektor secara eksperimen dilakukan memakai *injector pressure tester*. Tekanan input injektor yang diuji adalah sama yaitu 290, 310, 330 bar.

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh data sudut dan panjang semprotan pada nosel foto saat eksperimental seperti pada gambar 5. Data ini kemudian dibandingkan dengan data dari simulasi dan digunakan sebagai validasi pada pengujian simulasi injektor.



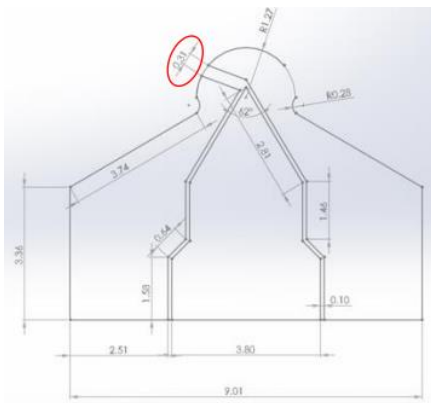
Gambar 5. Semprotan nosel

Tahapan keempat yaitu pengambilan data hasil pengujian tahap ini adalah proses menampilkan data hasil serta analisa dari pengujian simulasi dan eksperimen. Data yang diambil antara lain sudut semprotan, panjang semprotan dan waktu semprotan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

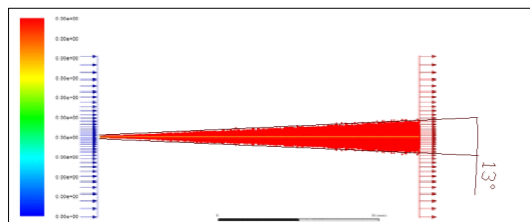
Pembahasan penelitian dimulai dengan hasil gambar injektor, diameter nosel $0,2 \text{ mm}$ pada gambar *solidwork*. Berikut adalah hasil gambar injektor di *solidwork*.

Simulasi metode CFD menggunakan *software Ansys*. Gambar injektor diupload ke *ansys* untuk digunakan proses simulasi. Parameter tekanan input injektor adalah 290, 310, 330 bar. Simulasi dilakukan secara bertahap tiap parameter. Data-data yang ditampilkan pada simulasi berupa sudut semprotan, panjang semprotan dan waktu semprotan.

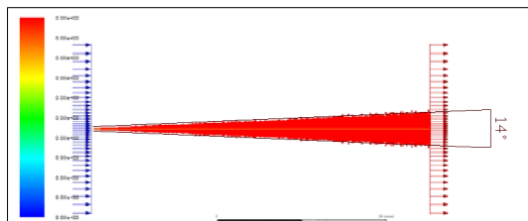


Gambar 6. Sketsa injektor dengan diameter nosel 0,3 mm

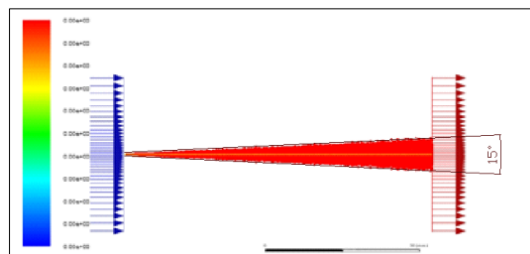
Setelah dilakukan simulasi pada injektor dengan diameter nosel 0,2 mm serta variasi tekanan input injektor 290, 310, 330 bar diperoleh data-data semprotan fluida. Semprotan fluida keluar dari nosel membentuk sudut yang bervariasi. Sudut semprotan dapat dilihat pada gambar 7.



(a)



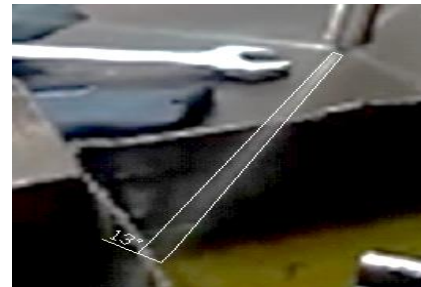
(b)



(c)

Gambar 7 Sudut semprotan nosel dari tekanan input injektor (a) 290 bar, (b) 310 bar, (c) 330 bar

Pengujian eksperimen juga 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.



(a)



(b)



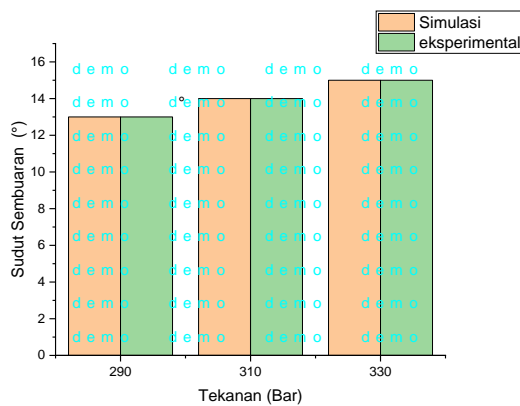
(c)

Gambar 8. Sudut semprotan nosel dari tekanan input injektor (a) 290 bar, (b) 310 bar, (c) 330 bar pada *injector tester*.

Data hasil pengujian, diperoleh sudut semprotan nosel injektor dari simulasi dan eksperimen kemudian dibuat tabel. Tabel tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sudut semprotan nosel injektor

No	Tekanan (bar)	Ø nosel (mm)	Sudut semburan (°)	
			Simulasi	eksperimen
1	290	0,2	13	13
2	310	0,2	14	14
3	330	0,2	15	15

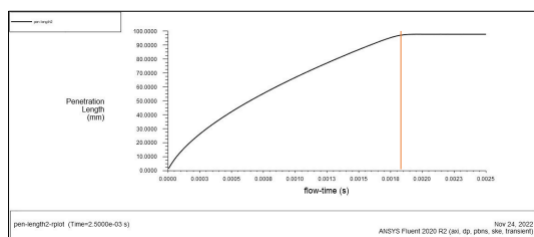


Gambar 9. Sudut semprotan nosel

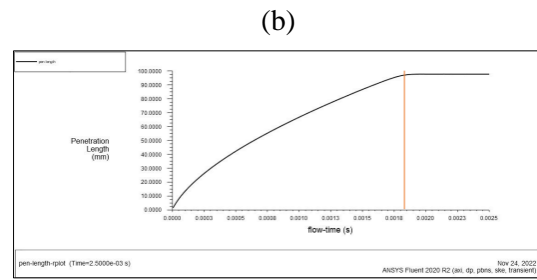
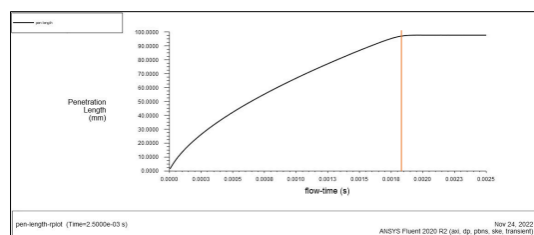
Dari gambar 9 terlihat grafik tekanan input injektor terhadap sudut semprotan nosel. Semakin besar tekanan input injektor maka semakin besar juga sudut semprotan nosel yang terjadi. Hal ini dapat dilihat pada tekanan 290, 310, 330 bar menghasilkan sudut semprotan nosel masing-masing sebesar 13°, 14°, 15°.

Semakin tinggi tekanan injeksi berdampak pada membesarnya sudut semprotan yaitu pada saat *primary breakup* dan juga meningkatkan panjang penetrasi karena droplet memiliki momentum lebih besar untuk mengatasi gaya aerodinamik (Surya, 2022).

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).



(a)



(c)

Gambar 10. Panjang dan waktu semprotan nosel injektor pada tekanan input injektor a) 290 bar, b) 310 bar, c) 330 bar

Setelah dilakukan simulasi pada injektor dengan diameter nosel 0,2 mm serta variasi tekanan input injektor 290, 310, 330 bar diperoleh data-data Panjang dan waktu semprotan fluida. Semprotan fluida keluar dari nosel mempunyai panjang dan waktu semprotan yang bervariasi. Ruang pada simulasi ini dimodelkan berupa ruangan persegi panjang dengan ukuran 100 x 50 mm. Semburan fluida tersebut membutuhkan waktu yang bervariasi untuk mencapai dinding pembatasnya dan bisa dilihat pada gambar 10.

Tabel 2 menunjukkan panjang semprotan injektor dan waktu yang dibutuhkan sampai menempel dinding dengan variasi tekanan input injektor 290, 310, 330 bar dan diameter nosel 0,2 mm. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Panjang, waktu semprotan

Tekanan (bar)	Ø nosel (mm)	Waktu semprotan (sekon)	Panjang semprotan (mm)	Kecepatan semprotan (mm/s)
290	0,2	0,00199	100	53910,05
310	0,2	0,00197	100	54475,94
330	0,2	0,00195	100	54763,44

Dari tabel 2 maka dapat dilihat semakin besar tekanan input injektor menunjukkan semakin cepat fluida yang disemprotkan menyentuh dinding. Ini dapat dilihat pada data tekanan input 290, 310, 330 bar diperoleh waktu semprotan berturut-turut dari 0,00199; 0,00197; 0,00195 sekon. Hal tersebut terjadi karena semakin tingginya tekanan injeksi sehingga momentum droplet bertambah guna menghambat udara mengalami gaya aerodinamik (surya, 2022).

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

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dibahas pada penelitian variasi tekanan input injektor 290, 310, 330 bar dan diameter nosel 0,2 mm maka diperoleh kesimpulan yaitu tekanan input injektor yang optimum adalah 330 bar dengan menghasilkan sudut semprotan sebesar 15°. Panjang semprotan 100 mm dengan waktu 0,00195 sekon.

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 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.
- I Wayan Suma Wibawa¹, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan I Nyoman Budiarsa¹. 2015. Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel. *Jurnal METTEK* Volume 1 No 2 pp 35 – 44.
- 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.