

T. Priangkoso

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Wahid Hasyim
Semarang
Jl Menoreh Tengah X/22
Semarang

DETONASI PADA PEMBAKARAN

Pembakaran merupakan proses penting dalam konversi energi. Detonasi sebagai salah satu fenomena pembakaran, mempunyai peran penting dalam aplikasi dan sering dikaitkan dengan engine knocking. Detonasi merupakan fenomena yang sulit dijelaskan dan hanya bisa diamati tingkat keadaan akhirnya secara eksperimental. Dua teori yang menggambarkan tingkat keadaan detonasi adalah Chapman-Jouguet dan ZND. Secara eksperimen, tingkat keadaan akhir detonasi mengikuti teori ZND.

Kata kunci: detonasi, pembakaran, teori Chapman, teori ZND, knocking.

Pendahuluan

Sembilan puluh persen energi mekanis yang berguna diperoleh dari pembakaran bahan bakar, misalnya pada mesin pembakaran dalam dan pembangkit listrik. Pembakaran merupakan proses reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen. Pembakaran juga merupakan proses yang sangat rumit sehingga terdapat banyak model untuk menggambarkan jalannya proses pembakaran. Salah satu fenomena yang terus diteliti adalah detonasi. Detonasi sering dianggap sebagai penyebab *knocking* pada mesin pembakaran dalam yang berpotensi menyebabkan kerusakan komponen mesin.

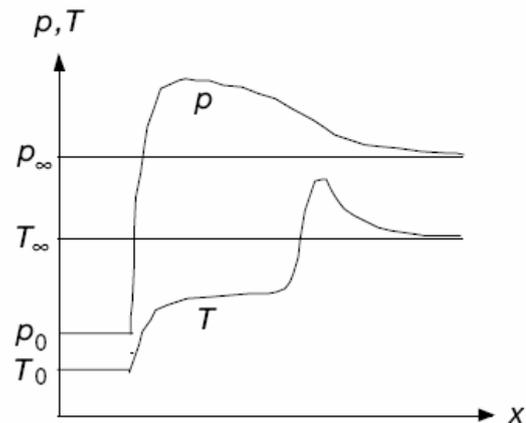
Meskipun teori detonasi sebagai penyebab *knocking* tidak begitu diterima dan teori *autoignition* lebih bisa diterima secara lebih luas, detonasi tetap menjadi gejala yang terus diteliti karena menimbulkan gelombang supersonik yang mempunyai potensi merusak.

Detonasi dan Pembakaran

Perambatan lidah api (*deflagration*) biasanya disebabkan oleh reaksi kimia yang didukung oleh gradien temperatur, konsentrasi spesies, dan proses perpindahan di tingkat molekular. Dalam peristiwa detonasi, perambatan disebabkan oleh gelombang tekanan yang didukung oleh reaksi kimia dan berkaitan dengan pelepasan kalor. Karakteristik penting pada perambatan detonasi adalah kecepatan perambatan gelombang tekanan jauh lebih tinggi dibanding kecepatan perambatan lidah api.

Beberapa campuran bahan bakar dan oksidator, perambatan nyala api dapat berubah menjadi perambatan detonasi jika melampaui batas tertentu. Salah satunya jika kecepatan pembakaran jatuh menjadi nol. Pada kenyataannya, batas kecepatan pembakaran terbatas antara 0,5 m/s, sedangkan kecepatan detonasi 1000 m/s.

Karakteristik nyala api laminar dapat dilihat pada Gambar 1. Gas yang tidak terbakar bergerak mendekati muka dengan kecepatan perambatan detonasi. Sedangkan pada muka detonasi, tekanan, temperatur, densitas, dan konsentrasi spesies berubah dan memiliki harga yang jauh berbeda di banding yang berada jauh di belakangnya.



Gambar 1. Skema struktur muka detonasi

Detonasi kuat dan lemah hanya dapat dibedakan melalui eksperimen dan hasilnya mengikuti model detonasi Chapman-Jouguet. Pada perambatan nyala api, tekanan cenderung konstan dan kerapatan gas yang tidak menyala lebih tinggi dibanding gas yang menyala, sehingga nyala api bergerak lebih cepat dibanding gas yang belum terbakar. Sebaliknya, dalam detonasi, tekanan di dalam gas yang terbakar lebih tinggi dibanding gas yang belum terbakar dan kerapatannya juga lebih tinggi karena kenaikan temperatur. Akibatnya, kecepatan nyala api lebih rendah dibanding muka detonasi.

Menurut teori Chapman-Jouguet,

$$v_D = \sqrt{2(\gamma^2 - 1)q}$$

$$\frac{\rho_\infty}{\rho_0} = \frac{\gamma + 1}{\gamma}$$

$$\frac{p_\infty}{p_0} = 2(\gamma - 1) \frac{q \rho_0}{p_0}$$

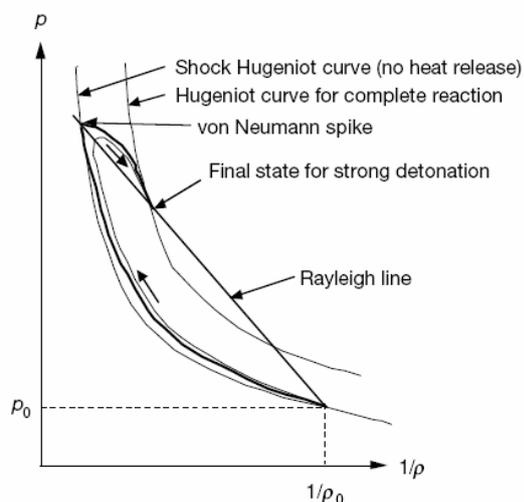
dimana v_D merupakan kecepatan perambatan detonasi, q kalor jenis reaksi, ρ adalah kerapatan gas, dan p adalah tekanan. Subskrip 0 dan ∞ menunjukkan kondisi di awal dan akhir muka detonasi. Jika tidak terdapat reaksi kimia ($q=0$), maka yang terjadi adalah gelombang kejut. Sedangkan untuk

$q \neq 0$ menunjukkan semua kemungkinan baik pada awal atau akhir proses.

Teori ZND

Banyak kasus detonasi digambarkan dengan teori ZND. Menurut teori ini, campuran yang belum terbakar ditekan oleh kejutan (*shock*), menjadi panas, dan kemudian mulai bereaksi. Seluruh proses ini dibagi menjadi dua fase, yaitu penekanan campuran diikuti dengan reaksi kimia, dan langkah menuju akhir detonasi yang kuat.

Jika pemanasan akibat gelombang kejut tumpang tindih dengan pelepasan kalor akibat reaksi kimia, maka perkembangan detonasi mengikuti kurva pada Gambar 2.



Gambar 2. Detonasi ZND dalam kurva Hugoniot

Hingga kini analisis hanya mengungkap informasi tingkat keadaan akhir detonasi seperti kecepatan detonasi dan menyisakan pertanyaan

tentang struktur gelombang detonasi. Hal menggiring pada penggambaran banyak kasus detonasi pada proses *shock deflagration* seperti pada teori ZND.

Pada dasarnya, tingkat keadaan akhir detonasi dapat berupa tingkat keadaan Chapman-Jouguet, tetapi tingkat keadaan berubah jika struktur detonasi tidak stabil sehingga struktur muka detonasi tiga dimensi yang kompleks muncul. Pemisahan antara fase penekanan dan fase reaksi dapat dilihat jelas pada Gambar 1, dimana temperatur pertama naik bersamaan dengan naiknya penekanan, dan kemudian diikuti pelepasan kalor dalam reaksi kimia.

Pertanyaan tentang suatu transisi perubahan dari *deflagration* menjadi detonasi sangat penting dalam banyak aplikasi. Model matematis memungkinkan penggambaran proses untuk geometri yang sederhana. Pada model ini, *deflagration* dipercepat dan berubah menjadi detonasi.

Kesimpulan

Detonasi merupakan fenomena pembakaran yang sulit untuk dijelaskan. Tingkat keadaan detonasi hanya bisa diamati melalui eksperimen dan hanya tingkat keadaan akhir yang bisa diamati. Model matematis detonasi memberikan gambaran detonasi untuk geometri yang sederhana. Detonasi juga mempunyai peran penting dalam banyak aplikasi pembakaran.

Daftar Pustaka

- Heywood, J.B.L., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1988
 El-Mahallawy, F., Habik, S., *Fundamentals And Technology Of Combustion*, Elsevier, 2002.
 Warnatz, J., dkk., *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiment, Pollutant Formation*, 3rd Edition, Springer, 2006.