

## **BAB IV**

### **HASIL & ANALISIS**

#### **4.1 KARAKTERISTIK POOL FIRE**

*Pool fire* adalah api yang terbakar secara difusi dari penguapan cairan bahan bakar dengan momentum bahan bakarnya yang sangat rendah. Api yang terbakar dari bahan bakar jenis ini sangat sulit dipadamkan dan menimbulkan dampak kerugian yang besar. *Pool fire* termasuk ke dalam kelas kebakaran B, dan untuk memadamkannya saat ini banyak digunakan bubuk kimia kering (*dry powder*). Pemadaman api jenis ini tidak dapat menggunakan media air, karena api bukan padam bahkan menyebabkan api menyebar. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa penelitian ini akan mencoba memadamkan jenis *pool fire* ini menggunakan sistem kabut air. Sebelum memadamkannya, perlu diketahui juga karakteristik dari *pool fire* yang akan diuji. Ini sebagai dasar analisis saat pemadaman.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemadaman *pool fire* yang berbahan bakar bensin. Wadah *pool fire* yang digunakan yaitu berukuran 5 cm, 8 cm dan 10 cm, yang akan menghasilkan ketinggian flame yang berbeda-beda. Bahan bakar yang digunakan untuk wadah 5 cm sebanyak 2 ml, wadah 8 cm sebanyak 250 ml, wadah 10 cm sebanyak 250 ml. Sebelum melakukan pemadaman, dilakukan dulu perhitungan karakteristik dari *pool fire* yang akan diuji. Karakteristik itu dapat berupa laju pembakaran bahan bakar, laju produksi kalor, tinggi nyala api, dan temperatur nyala. Sifat nyala api dari *pool fire* tersebut penting untuk menganalisis apa yang terjadi saat dilakukan usaha pemadaman menggunakan kabut air.

##### **4.1.1 Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi Kalor**

Untuk mengetahui pembakaran yang terjadi pada *pool fire* yang diuji, maka perlu dilakukan perhitungan dan pengujian terhadap laju pembakaran bahan bakar dan laju produksi kalornya. Menghitung laju pembakaran  $\dot{m}$  diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - \exp(-k\beta D))$$

Untuk bahan bakar bensin (gasoline) nilai  $k\beta = 2,1 \text{ m}^{-1}$  dan  $\dot{m}''_{\infty} = 0,055 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ .

Maka didapatkan nilai :

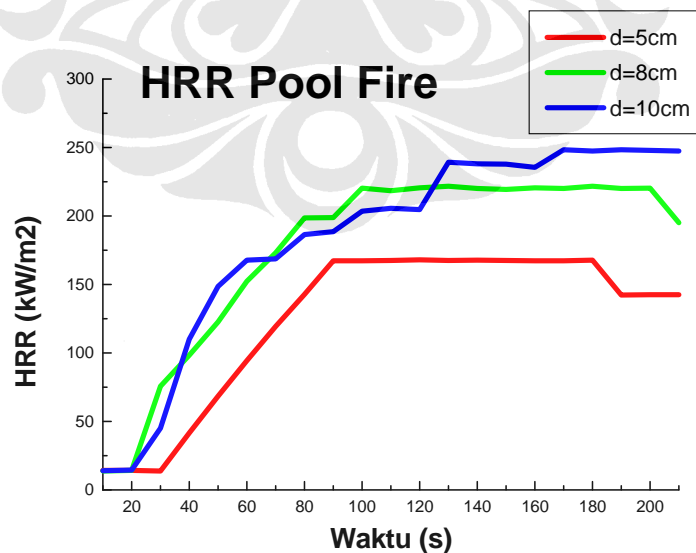
- diameter 5 cm :  $\dot{m}'' = 0,055 * (1 - \exp(-2,1 * 0,05)) = 5,48 * 10^{-3} \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$
- diameter 8 cm :  $\dot{m}'' = 0,055 * (1 - \exp(-2,1 * 0,08)) = 8,50 * 10^{-3} \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$
- diameter 10 cm :  $\dot{m}'' = 0,055 * (1 - \exp(-2,1 * 0,1)) = 10,41 * 10^{-3} \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$

Setelah mendapatkan laju pembakaran, maka dilakukan perhitungan laju produksi kalor (HRR) untuk ketiga diameter pool fire tersebut :

$$\dot{Q}_c = \dot{m}'' \cdot \Delta H_c$$

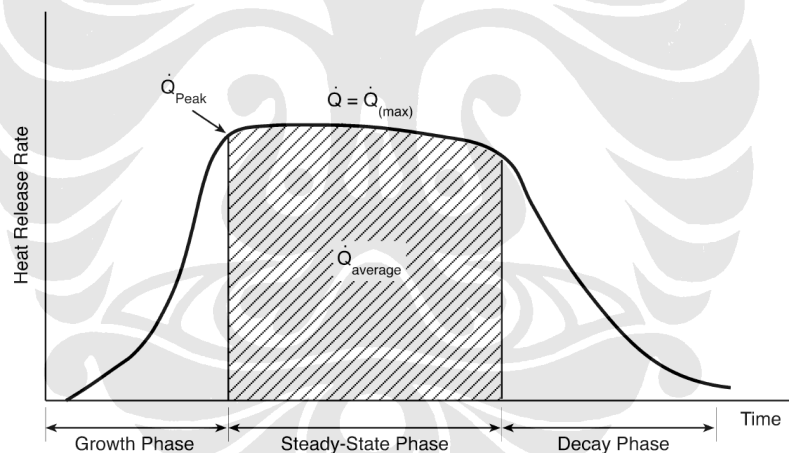
- diameter 5 cm :  $\dot{Q}_c = 5,48 * 10^{-3} \cdot 44700 = 245,85 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{s} = 245,85 \text{ kW / m}^2$
- diameter 8 cm :  $\dot{Q}_c = 8,5 * 10^{-3} \cdot 44700 = 379,95 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{s} = 379,95 \text{ kW / m}^2$
- diameter 10 cm :  $\dot{Q}_c = 10,41 * 10^{-3} \cdot 44700 = 465,327 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{s} = 465,327 \text{ kW / m}^2$

Dari hasil perhitungan diatas didapat bahwa semakin besar diameter pool fire maka semakin besar laju produksi kalornya. Untuk mengetahui laju produksi kalor per satuan waktu, maka dilakukan pengujian menggunakan cone calorimeter, didapatkan hasil yaitu :



Gambar 4.1 Grafik Laju Produksi Kalor Dengan Perbedaan Diameter

Dari grafik diatas terlihat bahwa laju produksi kalor akan meningkat dari waktu ke waktu sampai akhirnya akan stabil pada nilai tertentu (terlihat pada grafik referensi). Ini merupakan pola pembakaran yang dihasilkan oleh pool fire, berbeda dengan pembakaran jenis bahan bakar lainnya seperti bahan bakar solid. Pool fire akan mencapai kestabilan pada detik tertentu, ini merupakan sifat dari bahan bakar cair dimana laju penguapannya cepat (*flash point*) dan akan langsung terbakar [Drysedale,1998]. Peningkatan temperatur pada pool fire akan memanaskan bahan bakar, sehingga bahan bakar akan cepat berubah fase menjadi uap (laju *pyrolysis* cepat). Berbeda dengan pembakaran pada bahan bakar solid, seperti kayu dimana terdapat zat-zat yang akan terbakar dahulu (*moisture*), sebelum kayu benar-benar terbakar. Pada jenis bahan bakar cair, tidak terdapat zat-zat tersebut, sehingga pembakaran akan langsung terjadi dan laju produksi kalor akan langsung meningkat.



Gambar 4.2 Pola Laju Produksi Kalor (HRR) *Pool Fire*

Dari grafik percobaan diatas terlihat nilai laju produksi kalor (HRR) lebih kecil daripada nilai HRR berdasarkan perhitungan menggunakan rumus diatas. Ini dikarenakan HRR hasil pengujian ini merupakan perhitungan berdasarkan komposisi oksigen pada gas buang, temperatur gas buang, dan perbedaan tekanan yang dihasilkan per satuan waktu. Sedangkan pada perhitungan rumus, HRR tersebut merupakan laju produksi kalor pada pool fire pada kondisi pembakaran sempurna, sehingga hasil yang didapat akan lebih besar.

#### 4.1.2 Tinggi Nyala Api & Bentuk Api Pool Fire

Untuk mengetahui tinggi nyala api dari pool fire dapat menggunakan rumus :

$$H_f = (0.235 Q^{2/5}) - 1.02 D ; (\text{METHOD OF HESKESTAD})$$

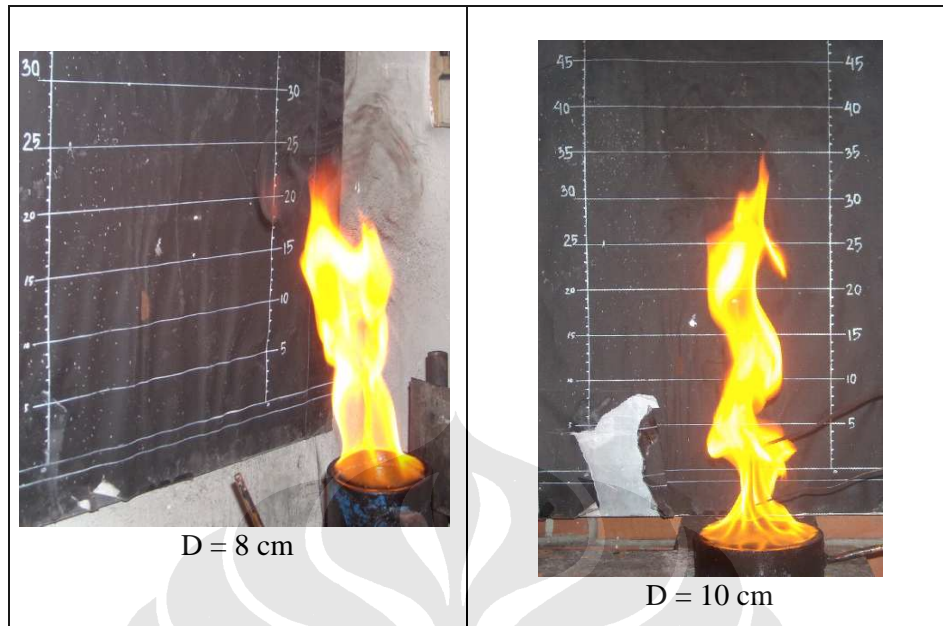
Dengan Q yaitu laju produksi kalor dalam kW, dan D merupakan diameter dari pool fire dalam meter. Berikut ini hasil perhitungan tinggi nyala api dari ketiga diameter yang diuji :

- diameter 5 cm :  $H_f = (0.235 * 1.93^{2/5}) - 1.02 * 0.05 = 0.254 \text{ m} = 25.4 \text{ cm}$
- diameter 8 cm :  $H_f = (0.235 * 7.64^{2/5}) - 1.02 * 0.08 = 0.253 \text{ m} = 44.8 \text{ cm}$
- diameter 10 cm :  $H_f = (0.235 * 14.62^{2/5}) - 1.02 * 0.10 = 0.585 \text{ m} = 58.5 \text{ cm}$

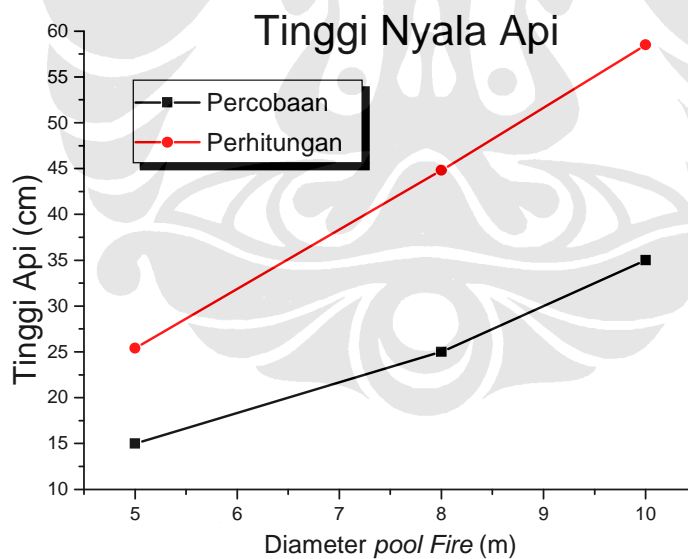
Dari hasil perhitungan tinggi flame, dapat dibandingkan dengan kondisi riil di lapangan :



D = 5 cm



Gambar 4.3 Visual Nyala Api *Pool Fire* Dengan Diameter Berbeda



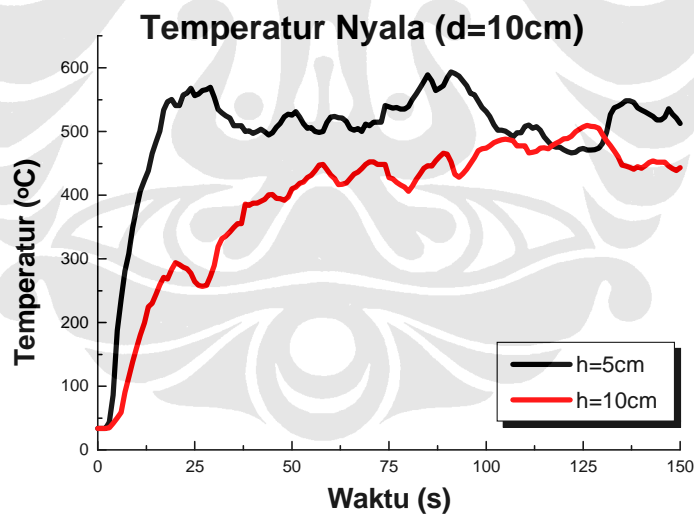
Gambar 4.4 Grafik Tinggi Nyala Api *Pool Fire*

Dari pengamatan visual diatas, ternyata tinggi nyala api untuk diameter 5 cm  $\pm$  15 cm, dan menurut perhitungan tinggi yang dihasilkan sebesar 25.4 cm. Untuk

diameter 8 cm, dari pengamatan visual didapat ketinggian nyala api  $\pm 25$  cm yang sedikit berbeda dengan hasil perhitungan. Untuk diameter 10 cm didapatkan tinggi nyala api  $\pm 35$  cm, lebih pendek dari hasil perhitungan yaitu sebesar 58.5 cm. Jadi ketinggian api bergantung kepada diameter dan laju produksi kalor pool fire, semakin besar diameter dan laju produksi kalor, maka akan semakin tinggi nyala apinya. Jenis bahan bakar cair juga mempengaruhi terhadap ketinggian nyala api. Seperti pada ethanol, tinggi nyala api lebih rendah dibandingkan dengan tinggi nyala api berbahan bakar bensin [wahyulianto, 2007].

#### 4.1.3 Temperatur Nyala

Setelah mengetahui laju produksi kalor dan tinggi nyala api, maka perlu juga mengetahui Temperatur nyala dari pool fire. Temperatur nyala ini diukur pada dua ketinggian, pada 5 cm dan 10 cm di atas permukaan bahan bakar.

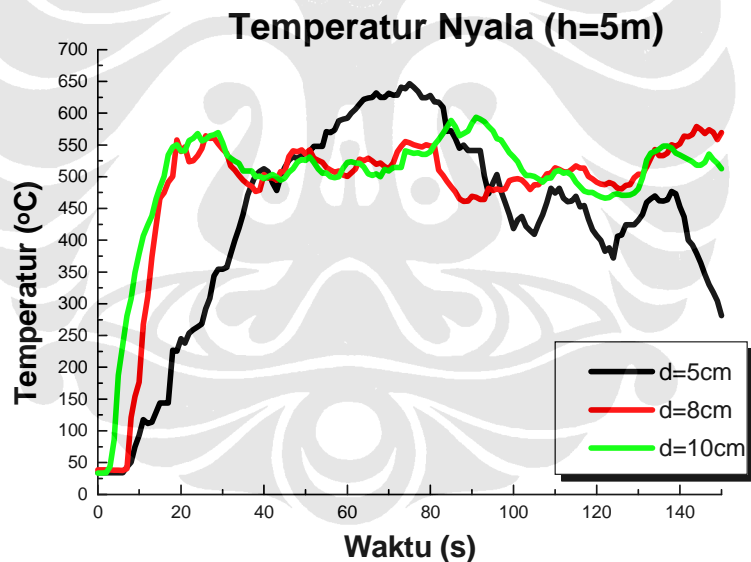


Gambar 4.5 Temperatur Nyala *Pool Fire* Pada Ketinggian Berbeda

Hasil pengambilan data untuk temperatur nyala dari pool fire terlihat pada grafik diatas. Temperatur pada 5 cm diatas permukaan bahan bakar memiliki nilai yang lebih tinggi daripada pada titik 10 cm. Ini dikarenakan termokopel yang diletakkan 5 cm diatas permukaan bahan bakar lebih dekat ke daerah/zona inti api.

Pada posisi 10 cm temperatur yang terukur, yaitu pada bagian lidah api, sehingga temperaturnya tidak setinggi pada 5 cm. Fluktuasi yang terjadi pada temperatur diatas karena adanya aliran udara yang menyebabkan api sedikit bergerak.

Dari grafik temperatur ini dapat diketahui pola penyalaan jenis *pool fire*. Dari temperatur rendah ( $<50^{\circ}\text{C}$ ) sampai ke temperatur tinggi ( $\pm 600^{\circ}\text{C}$ ) hanya membutuhkan waktu  $< 15$  sekon. Ini membuktikan bahwa bahan bakar bensin menguap secara cepat sejalan dengan peningkatan temperatur. Semakin tinggi temperatur api, maka akan menyebabkan percepatan penguapan bahan bakar karena adanya peningkatan perpindahan panas. Perpindahan panas akan semakin cepat karena perbedaan temperatur api ( $T_f$ ) dengan temperatur permukaan bahan bakar (*liquid Temperatur,  $T_l$* ) akan semakin besar. Ini sesuai dengan prinsip konduksi, konveksi dan radiasi pada *pool fire* [Drysdale,1998].



Gambar 4.6 Perbandingan Temperatur Nyala Berbagai Diameter

Grafik diatas menyajikan temperatur nyala pool fire pada ketiga jenis diameter. Temperatur ini diambil pada ketinggian 5 cm dari permukaan bahan bakar. Terlihat bahwa temperatur nyala dari pool fire tidak tergantung dari besar kecilnya diameter pool. Api dinyalakan pada detik ke-5, kemudian temperatur

akan langsung naik ke temperatur stabil pada daerah tersebut. Temperatur mengalami kestabilan antara 550-600°C, pada ketiga jenis diameter. Fluktuasi kecil yang terjadi dikarenakan dinamika api yang terus bergerak, dikarenakan adanya aliran udara (angin) yang menerpa nyala api.

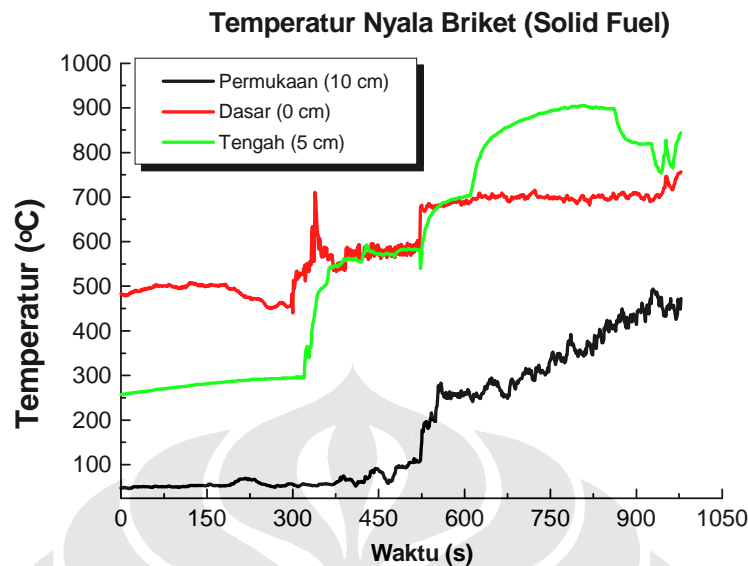
## **4.2 KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BRIKET (*SOLID FUEL*)**

Pada penelitian ini juga akan dilakukan percobaan pemadaman untuk jenis pembakaran solid fuel. Percobaan ini hanya ingin mengetahui apa yang terjadi apabila sistem kabut air digunakan untuk memadamkan api jenis ini. Seperti diketahui, kompor briket batubara pernah dikembangkan sebagai alternative penggunaan untuk rumah tangga. Namun banyak juga yang menentang, karena kadar polusi berupa asap dan zat berbahaya sangat tinggi. Saat melakukan percobaan dan pengambilan data untuk kompor briket ini, asap yang dihasilkan banyak dan menimbulkan bau yang menyengat. Ini sangat berbahaya apabila digunakan untuk rumah tangga yang tidak memiliki sistem ventilasi atau *exhaust sistem* yang baik.

### **4.2.1 Temperatur Penyalaan**

Untuk mengetahui karakteristik pembakaran dari kompor briket, maka perlu dicatat temperatur nyala dari pembakaran briket. Temperatur yang diambil yaitu pada dasar permukaan tumpukan briket (titik 0 cm), pada bagian tengah tumpukan briket (5 cm) dan pada bagian permukaan tumpukan briket (10 cm). Briket yang digunakan sebanyak 10 briket telur dengan satu buah briket memiliki massa sebesar 27 gr. Pengambilan data menggunakan tiga buah termokopel yang telah dikalibrasi.





Gambar 4.7 Temperatur Nyala Briket Batubara Pada Ketinggian Berbeda

Pengukuran temperatur dilakukan saat kondisi nyala kompor briket sudah stabil. Dikatakan stabil apabila bara dan api pada kompor tersebut sudah menyala dengan baik. Terlihat temperatur pada bagian permukaan (10cm) ternyata paling rendah dibandingkan pada bagian tengah tumpukan dan dasar tumpukan. Pada bagian dasar (0 cm) temperatur cenderung stabil pada 300 detik pertama dan akan mengalami peningkatan karena bara api yang semakin menyebar. Pada bagian tengah (5 cm) tumpukan temperatur meningkat pada sekitar detik ke-300, ini dikarenakan sudah penyebaran api/bara dari bagian dasar sudah semakin merata.

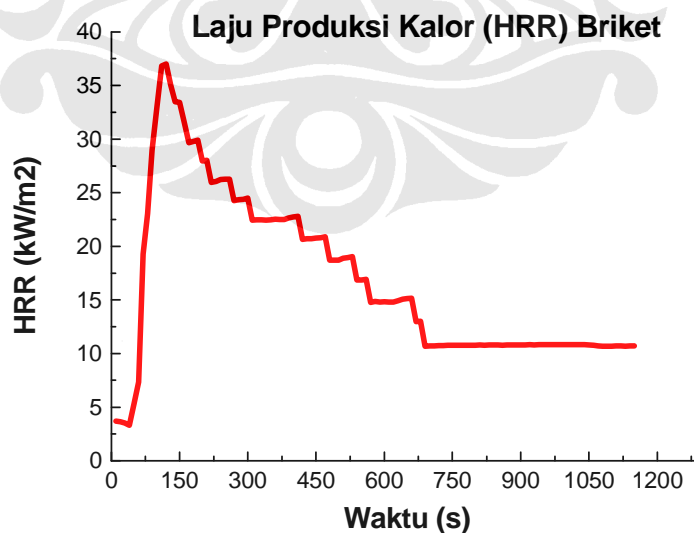
Pembakaran pada bahan bakar solid memiliki tren yang berbeda dengan pembakaran pada bahan bakar cair. Pembakaran bahan bakar solid memiliki waktu yang lebih lama untuk terbakar [Drysdale,1998]. Panas yang dikenai ke bahan bakar solid akan digunakan terlebih dahulu untuk menguapkan kandungan-kandungan lain seperti moisture. Oleh karena itu dibutuhkan energi atau temperatur yang tinggi untuk bisa membuat bahan bakar solid terbakar. Pada bahan bakar briket ini dibutuhkan api pendahuluan dari arang dan minyak tanah untuk menginisiasi pembakaran briket tersebut. Proses ini berlangsung kurang lebih 10 menit sampai briket tersebut benar-benar terbakar. Pada saat briket sudah

benar-benar terbakar, baru dilakukan pengukuran temperatur yang hasilnya terlihat pada grafik diatas.

Prinsip pembakaran briket ini yaitu terjadinya perpindahan panas baik secara konduksi, konveksi maupun radiasi. Perpindahan secara konduksi terjadi antar permukaan briket dengan briket lainnya. Konveksi terjadi dengan adanya aliran udara masuk pada bagian bawah kompor, dan radiasi semakin mempercepat terjadinya perpindahan panas. Apabila aliran udara diperbesar, maka proses perpindahan panas dan perambatan bara api akan semakin cepat. Dengan mengetahui pola temperatur pada pembakaran briket ini, maka dapat dilakukan analisis apa yang terjadi saat dilakukan proses pemadaman menggunakan kabut air.

#### 4.2.2 Laju produksi kalor (HRR)

Untuk mengetahui laju produksi kalor (HRR) dari pembakaran briket ini, digunakan cone calorimeter. Data yang diambil yaitu kadar oksigen pada gas buang, temperatur gas buang, dan perbedaan tekanan pada plat orifis. Pengambilan data hal-hal tersebut menggunakan quintox (flue gas analyzer), dan manometer miring. Dengan mengetahui HRR, maka dapat diketahui pola pembakaran kompor ini.



Gambar 4.8 Laju Produksi Kalor Pembakaran Briket

Data diatas menunjukkan laju produksi kalor dari pembakaran briket batubara. Pembakaran briket batubara membutuhkan bantuan untuk awal penyalaan, biasanya digunakan arang dan minyak tanah untuk membentuk nyala api yang dapat menyalakan briket tersebut. Pengukuran atau pencatatan data HRR diatas dilakukan sejak proses pembakaran minyak tanah atau arang, sehingga nilai HRR meningkat tajam pada sekitar detik ke-110. Ini dikarenakan asap yang dihasilkan pembakaran arang dan minyak tanah menimbulkan banyak asap yang terukur menjadi nilai HRR diatas. Pembakaran briket (briket mulai terbakar) dimulai saat nilai HRR mulai stabil yaitu pada detik ke-600. Sebelum itu (saat grafik bergerak turun) merupakan nilai HRR campuran antara arang yang terbakar dan briket yang terbakar. Nilai HRR murni briket seperti telah disebutkan dimulai saat detik ke-600 dimana kondisi yang terjadi asap pembakaran sudah mulai berkurang dan tidak sepekat saat pembakaran arang.

Nilai laju produksi kalor yang kecil dari pembakaran briket ini dikarenakan luas permukaan api briket yang diukur seluas diameter kompor briket. Padahal api yang timbul tidak memenuhi seluruh luas kompor briket tersebut. Api dari kompor ini sebenarnya hanya terdapat pada bagian tengah kompor, namun karena sulit untuk menghitung luas permukaannya, digunakan diameter penampang kompor untuk menghitung luas permukaannya.

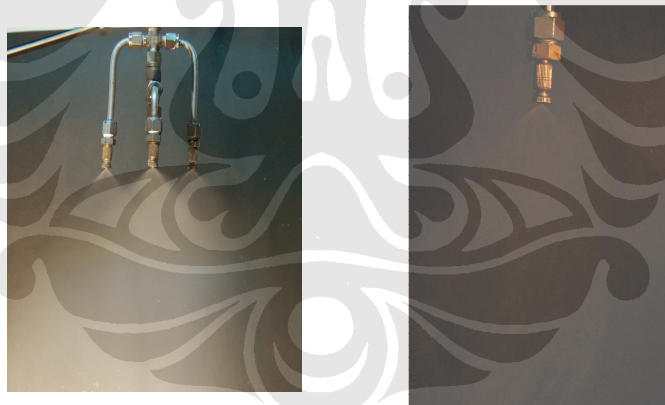
#### **4.3 PENGUJIAN KARAKTERISTIK WATER MIST UNTUK PEMADAMAN**

Sistem pemadaman kebakaran berbasis kabut air sedang banyak dikembangkan di berbagai Negara. Banyak ilmuwan yang meneliti keefektifan dari penggunaan sistem ini untuk berbagai jenis tipe kebakaran. Mekanisme pemadaman menggunakan kabut air ini telah dijelaskan pada bagian landasan teori, pada bagian itu juga disebutkan parameter-parameter yang penting dalam pemadaman api menggunakan kabut air ini. Parameter itu antara lain flux density, laju aliran kabut air, ukuran droplet, dan momentum. Hal-hal tersebut yang akan menentukan performa pemadaman kabut air ini.

Dalam penelitian ini akan coba diteliti beberapa hal mengenai karakteristik kabut air. Penelitian ini akan mencoba mencari laju aliran dan flux density, yang

dihasilkan oleh sistem kabut air skala laboratorium ini. Untuk mendapatkan hal-hal tersebut, maka dibuat suatu alat uji yang sesuai. Setelah itu ditetapkan parameter pengujian apa saja yang akan diambil (variabel apa saja yang berubah dan tetap). Ditentukan bahwa penelitian kali ini menggunakan 1 & 5 buah nosel dengan jarak antara nosel (untuk 5 nosel) sebesar 4 cm. Pada percobaan ini digunakan pool fire dengan diameter sebesar 5 cm, 8 cm dan 10 cm. Nosel yang digunakan jenis nosel green house dengan bukaan nosel sebesar  $540^\circ$ . Jarak pengambilan data flux density (nosel ke pool fire sebesar 10 & 30 cm).

Pada penelitian ini akan digunakan beberapa variabel tekanan untuk menentukan karakteristik dari water mist ini. Variasi tekanan yang digunakan yaitu 5, 7, 10, 13, & 15 bar. Pemilihan tekanan ini dikarenakan dalam penelitian ini ingin dihasilkan water mist sistem yang menggunakan tekanan yang kecil, agar dapat diaplikasikan untuk pembuatan APAR dan pemadaman domestik. Dari variasi tekanan ini yang akan dilihat yaitu pengaruh tekanan terhadap fluks density, & distribusi kabut air yang dihasilkan.



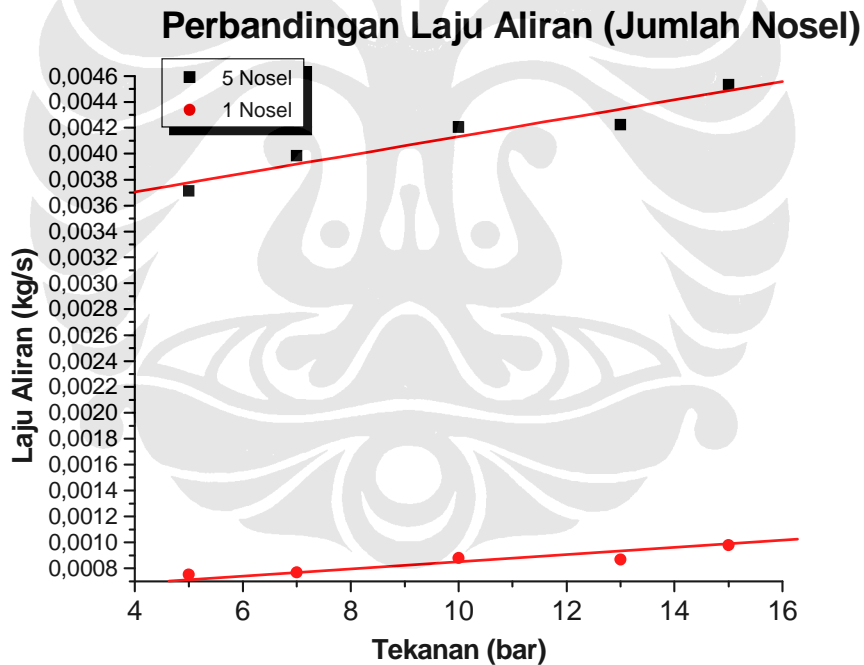
Gambar 4.9 Kabut Air Yang Disemprotkan

#### 4.3.2 Pengaruh Tekanan Terhadap Laju Aliran Kabut Air

Dalam memadamkan suatu api, dibutuhkan jumlah air yang cukup. Begitu pula dalam sistem kabut air ini, dibutuhkan jumlah kabut air yang cukup untuk memadamkan suatu jenis api tertentu. Untuk mendapatkan jumlah kabut air yang cukup maka perlu diketahui berapa besarnya laju aliran pada sistem kabut air ini. Oleh karena itu perlu diambil data mengenai laju aliran (flow rate; kg/s) , dan

mengetahui apa saja yang mempengaruhi besarnya laju aliran kabut air tsb. Berdasarkan penelitian sebelumnya, laju aliran dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu tekanan, & bukaan nosel. Pada penelitian ini hanya akan dicoba pengaruh tekanan terhadap laju aliran kabut air dan untuk bukaan nosel digunakan bukaan tetap sebesar 540°, karena bukaan tersebut paling efektif dalam berbagai hal. Tekanan yang akan dicoba yaitu lima variasi tekanan (5,7,10,13,15 bar)

Pengambilan data dilakukan pada 1 nosel dan 5 nosel menggunakan busa untuk menyerap kabut air yang disemprotkan selama satu menit penyemprotan. Setelah dilakukan penyemprotan, busa ditimbang dan akan diketahui massa yang terkandung. Hasil massa tersebut dibagi dengan 60 sekon, maka akan mendapatkan nilai laju aliran (kg/s). Hasil yang didapat pada kelima tekanan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini :



Gambar 4.10 Perbandingan Tekanan Dengan Laju Aliran Kabut Air

Dari grafik diatas terlihat bahwa jumlah nosel yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap laju aliran yang dihasilkan. Peningkatan laju aliran dengan bertambahnya jumlah nosel hampir mencapai lima kali lipat. Begitu pula dengan

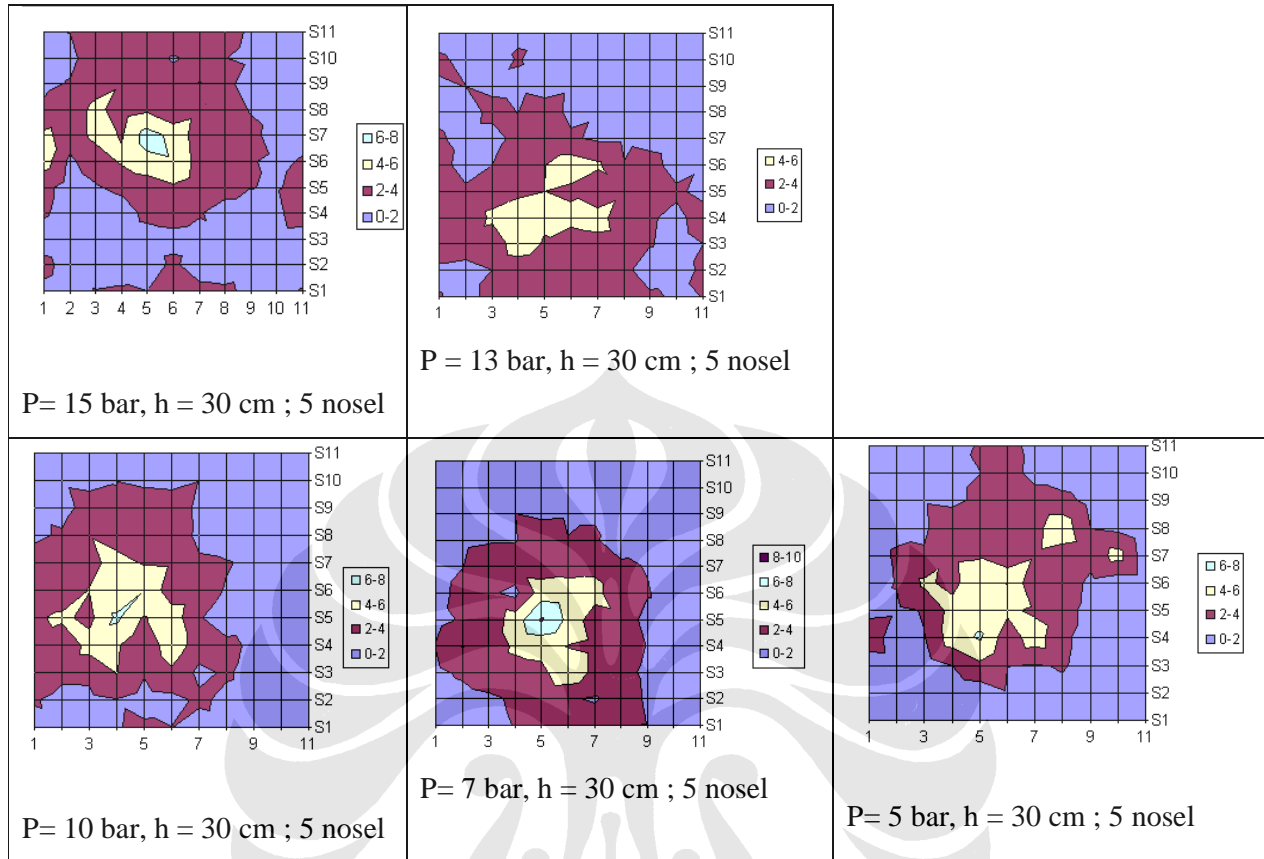
tekanan, semakin besar tekanan yang diberikan, maka akan semakin tinggi laju aliran kabut air yang terjadi. Peningkatan laju aliran ini dikarenakan prinsip kerja nosel yang menggunakan pegas untuk membentuk spray kabut air. Tekanan yang lebih tinggi akan menyebabkan pegas tertekan lebih kuat, sehingga air akan semakin banyak yang keluar. Meningkatnya tekanan ternyata hanya berpengaruh sedikit terhadap laju aliran kabut air untuk penggunaan 1 buah nosel, ini terlihat dari kemiringan grafik yang tidak sebesar pada penggunaan 5 buah nosel. Ini dikarenakan kemampuan dari nosel itu sendiri, yang memiliki batas maksimum laju aliran.

#### **4.3.3 Pengaruh Tekanan, Ketinggian Penyemprotan & Jumlah Nosel Terhadap Fluks Density Kabut Air**

Salah satu parameter yang penting dalam pemadaman menggunakan water mist yaitu *flux density* spray yang dihasilkan. Semakin baik *flux density* yang dihasilkan maka semakin efektif pemadaman yang dilakukan. Penelitian ini akan mencoba pengaruh tekanan dan ketinggian penyemprotan yang diberikan, terhadap *flux density* yang dihasilkan. Pengambilan data *fluks density* spray ini menggunakan 1 buah nosel dan 5 buah nosel (jarak antar nosel 4 cm), dengan 5 variasi tekanan dan dua variasi ketinggian.

Pengambilan data menggunakan busa yang dipotong kotak sebanyak 11 x 11 buah. Luas masing-masing kotak sebesar 9 cm<sup>2</sup> sehingga luas seluruhnya menjadi 1089 cm<sup>2</sup> atau 0.1089 m<sup>2</sup>. Untuk mendapatkan fluks density dari kabut air yang diuji, massa awal busa diukur dan massa akhir diukur (setelah disemprotkan kabut air), maka akan didapatkan selisih yang merupakan massa air yang terkandung. Setelah semua busa ditimbang, maka akan terlihat pola kabut air yang diuji. Pola kabut air yang dihasilkan ternyata berbeda pada setiap variasi, seperti variasi tekanan, ketinggian dan jumlah nosel. Untuk dapat menganalisis hasil, maka dalam melakukan perbandingan harus pada variabel yang sama. Berikut ini akan dibandingkan hasil yang didapat berupa perbandingan tekanan, ketinggian dan jumlah nosel :

### 4.3.3.1 Pengaruh tekanan :



Gambar 4.11 *Flux Density* Dengan Pada Berbagai Tekanan

Untuk mendapatkan pengaruh tekanan terhadap fluks density yang dihasilkan, maka dilakukan pengambilan data dengan menggunakan busa dengan ketinggian penyemprotan 30 cm. Dari hasil pengambilan data akan dapat dilihat daerah mana saja yang memiliki fluks besar, dan daerah mana yang tidak terkena sama sekali. Terlihat bahwa untuk tekanan yang semakin meningkat, maka pesebaran air akan semakin besar.

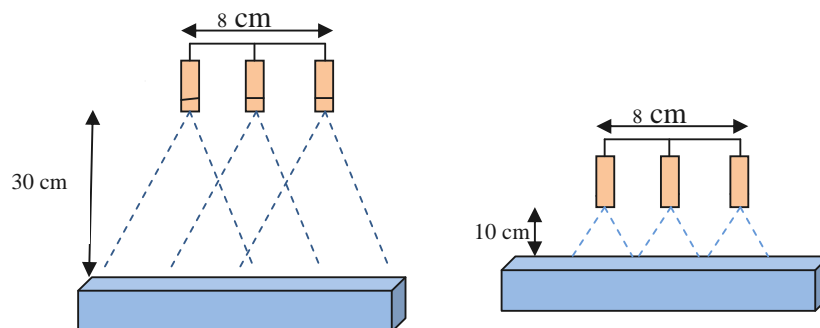
Gambar diatas memperlihatkan hasil pengambilan data sebaran kabut air yang disemprotkan oleh lima buah nosel dengan jarak antar nosel 4 cm. Masing-masing nosel menyemprotkan kabut air dengan laju aliran yang sama. Didapatkan pola sebaran kabut air pada berbagai tekanan tersebut. Dari gambar diatas dapat terlihat pada tekanan rendah (5 & 7 bar), konsentrasi sebaran spray membentuk pola membulat dan fluks tinggi pada bagian tengahnya. Ini berbeda dengan hasil

pada tekanan 13 bar & 15 bar, dimana pesebaran besar dan lebih merata. Pesebaran yang lebih merata ini dikarenakan dengan tekanan yang tinggi didapatkan sudut spray yang lebih besar [Chairul, 2007]. Sudut spray yang lebih besar akan memperbesar luas cakupan dari kabut air ini.

Dengan tekanan rendah akan didapatkan konsentrasi fluks pada bagian tengah, dengan jumlah kabut air yang besar. Sedangkan pada tekanan tinggi, konsentrasi fluks lebih menyebar ke seluruh bagian. Hal ini bisa menjadi suatu parameter dalam mendesain suatu sistem kabut air. Apa yang dibutuhkan dari sistem ini, konsentrasi kabut air tinggi pada bagian tengah atau luas cakupan yang diinginkan. Apabila diinginkan pemadaman untuk objek tertentu yang terkonsentrasi, maka dapat digunakan tekanan rendah (5-10 bar), atau bila dibutuhkan sistem kabut air untuk api yang besar dapat menyebar maka dapat dipakai aplikasi dengan tekanan tinggi.

#### 4.3.3.2 Pengaruh Ketinggian Penyemprotan Terhadap Flux Density

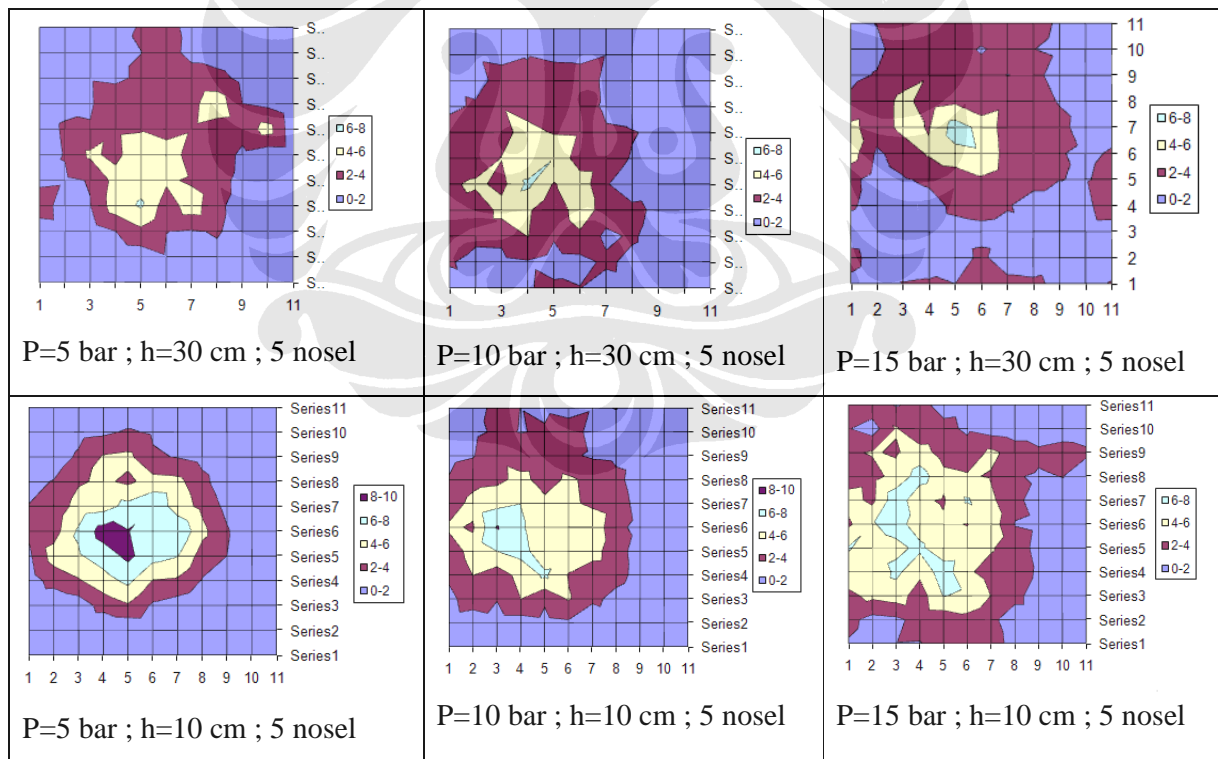
Selain factor tekanan, juga akan dilihat factor ketinggian penyemprotan terhadap flux density yang dihasilkan. Ketinggian penyemprotan sangat berpengaruh pada nilai flux density spray ini, dikarenakan penggunaan 5 buah nosel yang akan membuat berbeda hasil flux density yang didapatkan. Menggunakan lima buah nosel, maka akan terjadi interaksi spray yang terjadi antar nosel. Interaksi spray tersebut yang akan mempengaruhi pola sebaran kabut air yang disemprotkan. Dengan perbedaan ketinggian maka akan terjadi pola interaksi spray yang berbeda. Terlihat pada ilustrasi dibawah ini :



Gambar 4.12 Ilustrasi semprotan nosel



Pada percobaan kali ini coba diambil data flux density pada dua variasi ketinggian yaitu ketinggian 30 cm dan 10 cm. Perbedaan hasil akan jelas terjadi pada variasi ketinggian ini. Terlihat pada ilustrasi diatas, penggunaan lima buah nosel akan menghasilkan interaksi spray yang dihasilkan nosel. Interaksi itu terjadi pada ketinggian tertentu, yang tentu saja mempengaruhi flux density yang dihasilkan. Ilustrasi diatas menunjukkan bahwa pada ketinggian 30 cm dapat terjadi interaksi spray, sehingga tidak terbentuk puncak-puncak mandiri untuk setiap nosel. Pada ketinggian itu pola yang terbentuk dapat terlihat bergabung konsentrasinya, karena kabut air yang dihasilkan oleh setiap nosel akan membentuk pola gabungan, bukan pola sendiri seperti hasil pesebaran pada satu nosel. Pada jarak ketinggian 10 cm, bisa saja belum terjadi interaksi nosel seperti terlihat pada ilustrasi diatas. Sehingga akan terbentuk pola-pola puncak sendiri-sendiri untuk setiap nosel. Namun hal itu hanya merupakan hipotesis yang akan dibuktikan dengan pengambilan data. Berikut ini merupakan hasil variasi ketinggian, yang coba dibandingkan :

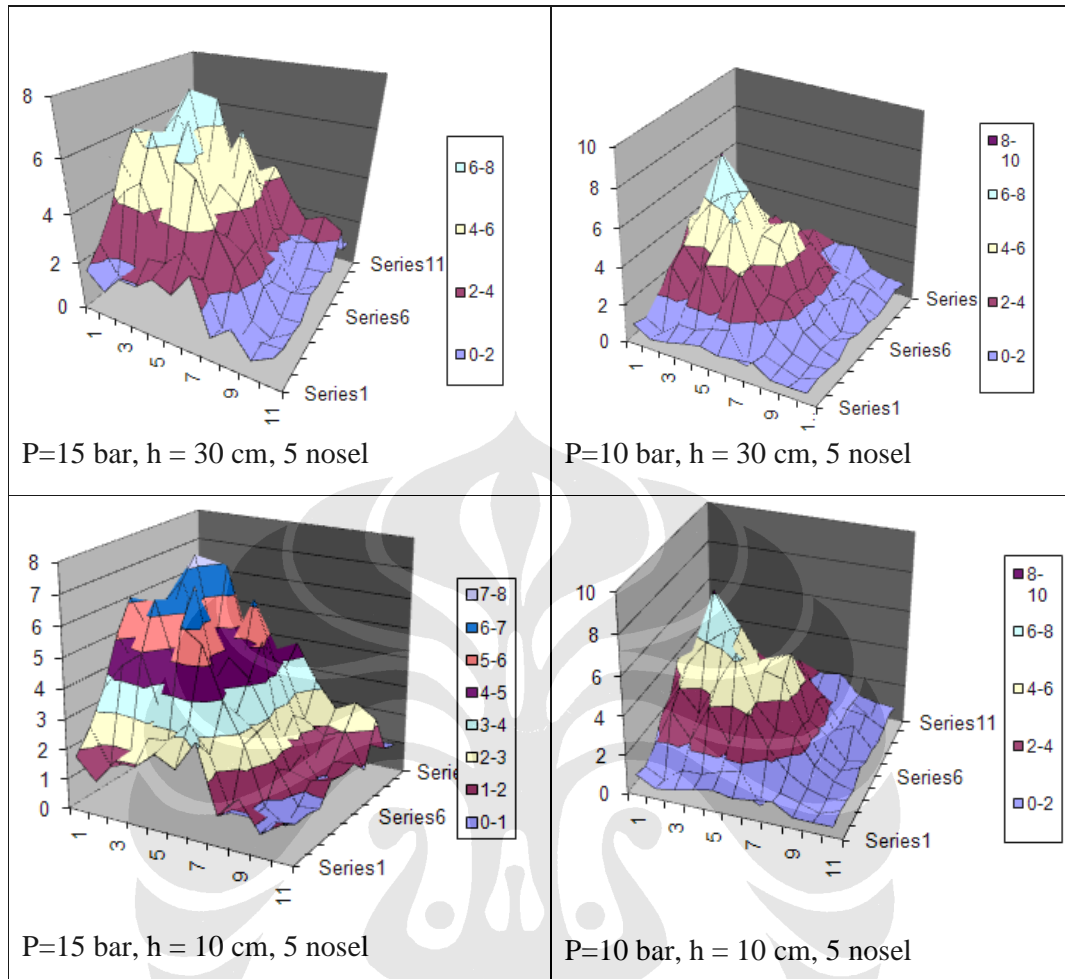


Gambar 4.13 Flux Density Pada Berbagai Ketinggian

Pada gambar diatas terlihat perbedaan pola pesebaran yang terjadi pada dua variasi ketinggian. Terlihat pada ketinggian 10 cm, terbentuk pola terkonsentrasi pada bagian tengah. Begitu juga terlihat pada ketinggian 30 cm terlihat pola yang lebih mengacak, tidak serapi pada ketinggian 10 cm. Untuk luas cakupan yang dihasilkan pada kedua variasi ketinggian didapatkan suatu hasil yaitu dengan semakin jauhnya penyemprotan, maka tidak akan memperluas cakupan spray tersebut. Ini terlihat dari gambar diatas, pada ketinggian 10 cm luas area cakupan memiliki nilai yang hampir sama pada ketinggian 30 cm.

Berdasarkan pemahaman sebelumnya, bahwa semakin jauh jarak penyemprotan, maka akan semakin luas cakupan areanya. Namun ini dijawab oleh hasil diatas, penjelasan dari hal itu adalah kabut air yang dihasilkan akan membentuk pola kerucut sampai batas tertentu, setelah itu kabut air akan kehilangan kemampuan penetrasinya karena mengalami perlambatan dan akan jatuh bebas tanpa pengaruh tekanan nosel lagi [Husted, Bjarne Paulsen et al, 2004]. Ini yang menyebabkan ada batas ketinggian penyemprotan efektif sewaktu pemadaman. Dengan semakin kecilnya jarak penyemprotan, maka akan lebih efektif dalam pemadaman. Ini dikarenakan dengan jarak tersebut akan didapatkan luas cakupan yang sama, dengan momentum dan fluks yang lebih besar. Ini tentu saja akan meningkatkan kemampuan kabut air untuk pemadaman.

Seperti hipotesis tadi, bahwa dengan jarak penyemprotan yang semakin tinggi maka pola spray akan lebih membentuk pola gabungan karena adanya interaksi spray, dan pada tinggi penyemprotan yang kecil akan didapatkan pola spray sendiri-sendiri (terdapat puncak-puncak) karena belum terjadi interaksi spray, seperti halnya pola pada penggunaan satu buah nosel. Untuk menjawab hal tersebut, maka akan ditampilkan ilustrasi 3 dimensi dari flux density ini :



Gambar 4.14 Tampilan 3-Dimensi grafik *flux density*

Dari perbandingan diatas ternyata pada ketinggian 10 cm sudah terjadi interaksi spray sehingga pola yang terbentuk merupakan gabungan spray antar nosel. Interaksi terjadi dapat diketahui dengan tidak terbentuknya puncak-puncak mandiri pada hasil flux density diatas. Pola yang terbentuk terdapat puncak-puncak kecil dan satu puncak besar yang merupakan interaksi gabungan antar nosel, baik pada ketinggian 30 cm maupun 10 cm. Jadi dengan adanya data perbedaan ketinggian ini dapat diambil kesimpulan bahwa dengan jarak penyemprotan yang lebih dekat, akan meningkatkan performa dari kabut air tsb. Peningkatan performa yang dimaksud yaitu luas cakupan area yang sama besar dengan jarak penyemprotan yang lebih jauh, namun memiliki momentum dan fluks yang besar. Momentum dan fluks merupakan hal penting dalam performa

pemadaman menggunakan kabut air. Didapatkan juga hasil yaitu pada ketinggian 10 cm sudah terjadi interaksi spray seperti halnya pada ketinggian 30 cm.

#### **4.4 PEMADAMAN BAHAN BAKAR LIQUID & SOLID**

Dalam penelitian ini akan coba dipadamkan kebakaran bahan bakar liquid dan bahan bakar padat/solid. Pemadaman bahan bakar liquid yaitu pemadaman pool fire dengan bahan bakar bensin. Untuk bahan bakar padat digunakan briket batubara jenis briket telur. Yang dapat dilihat dari pemadaman ini yaitu waktu pemadaman, pola pemadaman, temperatur nyala karena pemadaman, dan penurunan laju produksi kalor karena adanya pemadaman. Dalam pemadaman ini akan dipakai lima buah nosel dengan jarak antar nosel 4 cm, dengan variasi tekanan sebesar 5,7,10,13, dan 15 bar. Untuk pemadaman pool fire akan diuji pemadaman untuk diameter 8 & 10 cm. Untuk kompor briket menggunakan 10 buah briket telur dengan berat total 270 gram.

##### **4.4.1 Pemadaman Bahan Bakar Cair (Pool Fire)**

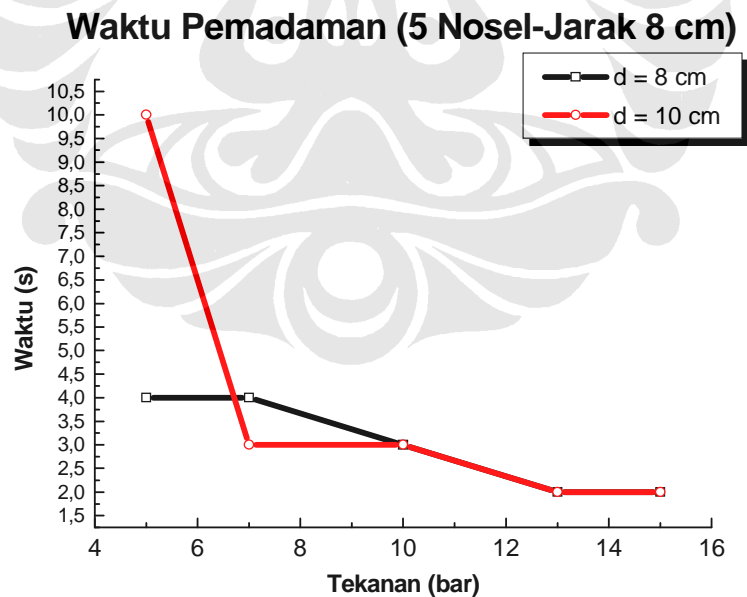
Karakteristik mengenai pool fire telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Pool fire yang akan coba dipadamkan yaitu dengan diameter wadah 8 cm, & 10 cm, yang berbahan bakar bensin. Pemadaman akan coba dilakukan dengan variasi tekanan yang diberikan yaitu 5, 7, 10, 13, 15 bar dengan bukaan nosel 540° dan jarak pool fire dengan nosel sebesar 30 cm. Dalam melakukan percobaan akan dilakukan pengamatan temperatur dari nyala api yang dihasilkan sebelum kabut air dinyalakan dan setelah kabut air dinyalakan. Oleh karena itu akan ditempatkan dua buah termokopel untuk melihat pergerakan temperatur nyala api saat dikenai kabut air dan saat pemadaman terjadi. Termokopel tersebut diletakkan pada jarak 5 cm dan 10 cm diatas permukaan bahan bakar.

Pemadaman akan menggunakan lima buah nosel dengan jarak nosel terluar sebesar 8 cm. Ini digunakan karena penggunaan satu nosel tidak cukup efektif dalam memadamkan pool fire dengan diameter besar. Penggunaan lima buah nosel ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan waktu pemadaman. Karena dengan penggunaan lima nosel, laju aliran kabut air akan semakin meningkat

selain juga faktor tekanan. Pada awalnya percobaan akan dilakukan terhadap tiga variasi diameter pool fire, namun setelah mencoba performa dari penggunaan lima nosel ini, akhirnya diputuskan hanya diameter 8 cm dan 10 cm yang akan coba dipadamkan. Ini dikarenakan lima nosel ini sangat “powerful” dalam memadamkan api pool fire sampai diameter tertentu.

Tabel 4.1 Waktu Pemadaman Pada Tekanan Berbeda

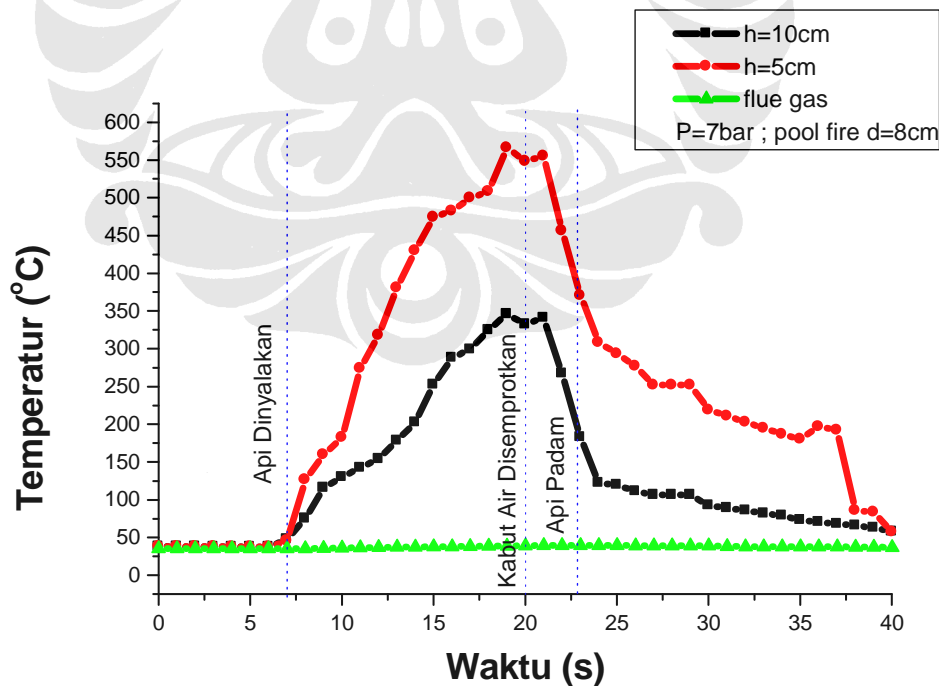
Tekanan (bar)	Waktu Pemadaman	
	d=8cm	d=10cm
5	4 s	10 s
7	4 s	3 s
10	3 s	3 s
13	2 s	2 s
15	2 s	2 s



Gambar 4.15 Waktu Pemadaman Dengan Perbedaan Tekanan

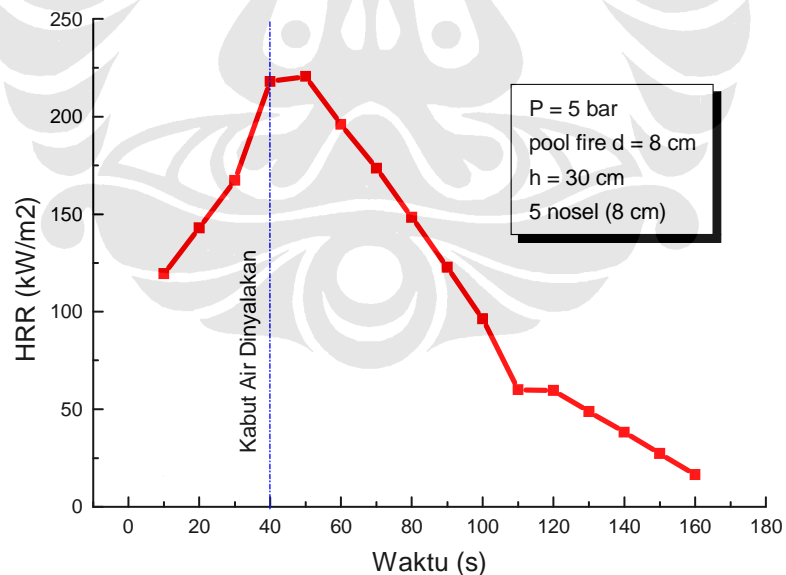
Penggunaan lima nosel untuk water mist ini sangat efektif untuk memadamkan pool fire. Untuk diameter pool fire 8 & 10 cm, hanya dibutuhkan waktu < 5 sekon untuk memadamkan api tersebut. Ini disebabkan karena fluks air yang dikeluarkan sangat besar, momentum juga besar, sehingga sangat cukup untuk memadamkan api. Peningkatan tekanan hampir tidak memberikan pengaruh yang banyak untuk waktu pemadaman, ini berarti menggunakan lima buah nosel, sudah efektif digunakan pada tekanan rendah. Sehingga tidak perlu merancang kabut air dengan tekanan tinggi.

Pemadaman pool fire dengan kabut air melalui beberapa metode, yaitu pendinginan nyala api (flame), pendinginan permukaan bahan bakar, pencegahan masuknya oksigen dll [Ziu, 2000]. Dengan menggunakan lima buah nosel (jarak 8 cm), mekanisme tersebut telah terjalankan dengan baik. Cakupan lima nosel dapat mengurangi masuknya oksigen untuk pembakaran. Fluks yang besar cukup untuk mendinginkan nyala api dan permukaan bahan bakar. Sehingga api akan padam dengan cepat. Dengan peningkatan tekanan juga akan meningkatkan momentum dari spray, yang tentu saja akan membuat pemadaman semakin efektif.



Gambar 4.16 Pola Temperatur Pemadaman *Pool Fire* P=7bar;

Grafik diatas memperlihatkan temperatur pada 5 & 10 cm saat pool fire dihidupkan sampai dengan saat api padam karena penyemprotan kabut air. Pada pembakaran pool fire api dihidupkan pada detik ke-5 dan kabut air disemprotkan pada detik ke-20. Dipilihnya detik ke-20 karena pada detik tersebut api telah berkembang penuh dan temperatur telah stabil. Hanya dalam waktu dua detik api akan padam dan tidak menyala lagi. Dari grafik temperatur diatas terlihat bahwa sesaat setelah kabut air disemprotkan, akan terjadi peningkatan temperatur sebelum akhirnya padam. Peningkatan temperatur tersebut dikarenakan pada saat kabut air disemprotkan akan menghasilkan momentum yang besar. Momentum tersebut akan menyebabkan api bergolak dan membesar. Dengan api yang semakin besar maka laju produksi kalor akan meningkat, yang pada akhirnya akan meningkatkan temperatur. Api padam pada temperatur sekitar 150°C, yang berarti penggunaan lima nosel ini sangat efektif digunakan untuk memadamkan pool fire sampai diameter tertentu.



Gambar 4.17 Pola Laju Produksi Kalor (*Pool Fire*) Dengan Penyemprotan Kabut Air

Penurunan laju produksi kalor saat kabut air disemprotkan dapat terlihat pada grafik diatas. Terlihat bahwa nilai HRR meningkat dan akan stabil pada nilai tertentu dan akan mengalami penurunan karena penyemprotan yang menyebabkan api padam. Pada percobaan disebutkan bahwa kabut air dinyalakan pada detik ke-20, dan api akan padam pada detik ke-24 (untuk kondisi diatas). Namun pada grafik terlihat waktu penyalaan kabut air pada detik ke-40. Ini dikarenakan adanya keterlambatan (*delay*) respon dari alat ukur (quintox) dalam membaca gas buang dan temperature gas buang. Selain itu juga karena pengambilan data oleh alat ukur tersebut setiap 10 detik sekali, sehingga ada kesulitan untuk mendapatkan nilai per detik. Nilai laju produksi kalor (HRR) pada pool fire akan stabil pada nilai tertentu, apabila tidak dilakukan penyemprotan mist.

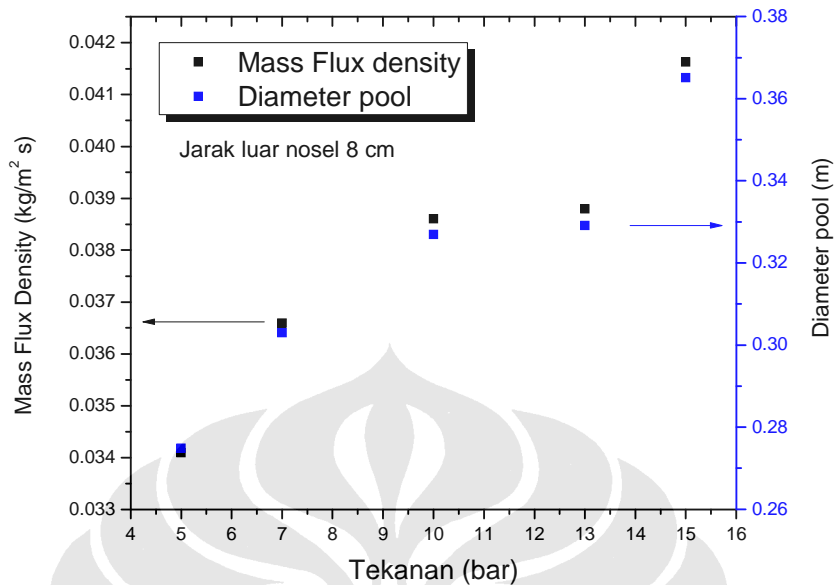
Seperti telah disebutkan, bahwa penggunaan lima buah nosel pada water mist akan mempercepat waktu pemadaman dibandingkan menggunakan 1 buah nosel. Dengan fluks yang dihasilkan oleh lima buah nosel tersebut, dapat dihitung kemampuan lima buah nosel tersebut dapat memadamkan sampai berapa besar diameter dari pool fire tersebut. Untuk mengetahuinya, maka dapat dilakukan perhitungan, menggunakan persamaan kesetimbangan energy pada pool fire :

$$x m_w = \frac{(\Delta H_c - C_{pf}(1600 - T_{fs}) + \phi C_{pa}(1600 - T_a) - L_{vf})}{L_{vw} + C_{pwL}(T_{wp} - T_w) + C_{pww}(1600 - T_{wp})} \times \frac{(q_{conv} + q_{rad}) - (q_{fl} + (1-x)m_w C_{pw}(T_{fs} - T_w))}{L_{vf}}$$

Tabel 4.2 Perhitungan Diameter Yang Mampu Dipadamkan Dengan 5 Nosel

tekanan (bar)	mw (g)	A (m2)	t (s)	flow rate (kg/s)	mw (kg/s m2)	d (m)
5	222,77	0,1089	60	0,003712833	0,03409397	0,274927915
7	239,11			0,003985167	0,036594735	0,303030817
10	252,28			0,004204667	0,038610346	0,326954433
13	253,5			0,004225	0,038797062	0,329232646
15	272			0,004533333	0,041628405	0,365185837





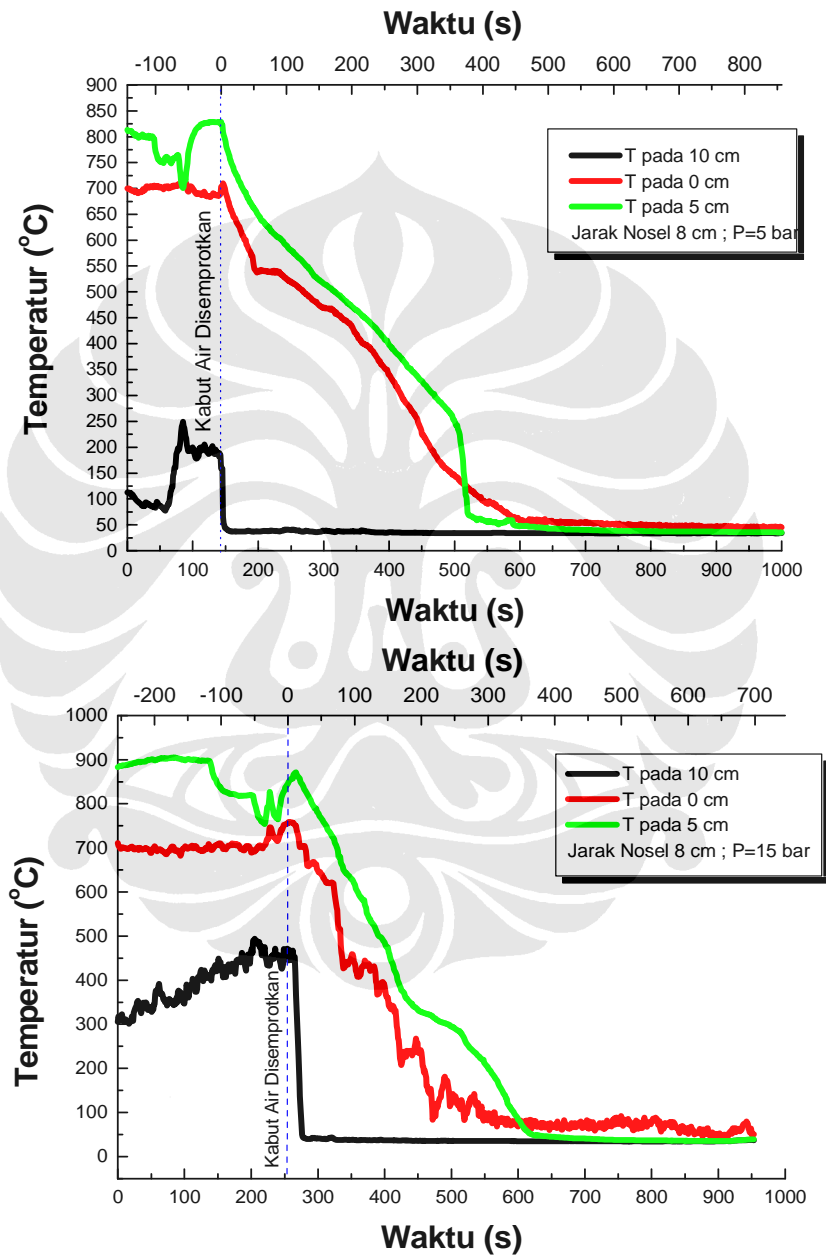
Gambar 4.18 Perbandingan *Flux Density* dengan Diameter Yang Mampu Padam

Dengan menggunakan rumus diatas, didapatkan diameter terbesar yang mampu dipadamkan menggunakan 5 buah nosel tersebut. Variabel yang diperhitungkan yaitu fluks massa air yang dihasilkan, semakin besar fluks massa air maka semakin besar diameter yang mampu dipadamkan. Dengan fluks sebesar  $0.042 \text{ kg/s m}^2$  dapat memadamkan pool fire sampai diameter  $\pm 36 \text{ cm}$ . Hasil ini merupakan hasil perhitungan dan belum didapat data percobaannya. Hasil perhitungan ini belum dapat dibuktikan kebenarannya karena keterbatasan peralatan dan kemungkinan bahaya yang akan ditimbulkan apabila membuat simulasi diameter pool fire sebesar itu.

#### 4.4.2 Pemadaman Bahan Bakar Padat (Briket Batubara)

Setelah melakukan pemadaman bahan bakar cair, maka selanjutnya akan dipadamkan jenis bahan bakar padat yaitu briket batubara. Briket batubara yang digunakan yaitu jenis briket telur dengan berat satu butir 27 gram. Dalam pemadaman ini akan digunakan 10 butir briket. Untuk menyalakannya digunakan arang dan minyak tanah sebagai inisiasi pembakaran. Setelah briket mulai

terbakar maka diletakkan tiga buah termokopel seperti yang sudah dijelaskan. Proses pemadaman atau penyemprotan kabut air dimulai saat temperatur di ketiga tempat tersebut sudah stabil & meyakinkan. Berikut ini merupakan hasil pengambilan data pemadaman briket :



Gambar 4.19 Pola Temperatur Pembakaran Briket Dengan Penyemprotan

Grafik diatas memperlihatkan pola pemadaman bahan bakar solid menggunakan kabut air. Pengambilan data dimulai saat temperatur pada ketiga tempat tersebut sudah stabil. Pada detik tertentu kabut air dinyalakan dan akan terjadi penurunan temperatur pada ketiga tempat tersebut. Penurunan temperatur paling cepat terjadi pada permukaan bahan bakar solid, ini dikarenakan lidah api yang menyala langsung padam setelah disemprot kabut air. Berbeda pada temperatur bagian tengah (5cm) dan dasar tumpukan (0cm), penurunan temperatur terjadi perlahan-lahan, memakan waktu hampir 400 sekon untuk mencapai temperatur dibawah 50°C. Pemadaman briket batubara ini juga dilakukan dengan variasi tekanan, untuk mengetahui apakah dengan tekanan yang lebih tinggi akan didapatkan waktu pemadaman yang lebih cepat. Ternyata dari hasil diatas dapat terlihat bahwa peningkatan tekanan kabut air tidak mempercepat secara signifikan waktu pemadaman. Dengan peningkatan tekanan hanya sedikit mempercepat waktu pemadamannya.

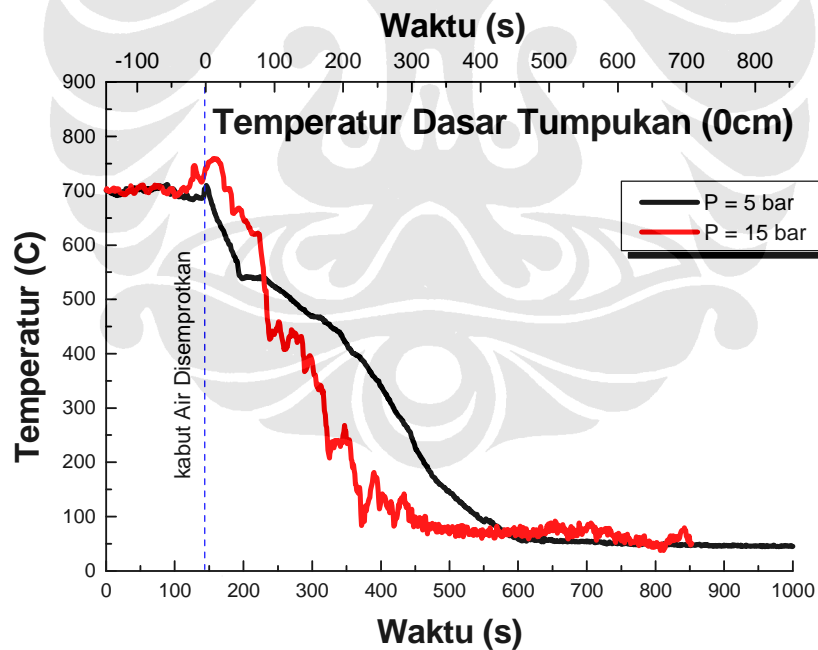
Pemadaman bahan bakar solid menggunakan kabut air ternyata membutuhkan waktu yang lama daripada untuk jenis bahan bakar cair. Ini disebabkan pada pembakaran bahan bakar cair, temperatur tertinggi terjadi pada permukaan bahan bakar sedangkan pada bagian dalam bahan bakar cair temperatur lebih rendah. Sehingga saat kabut air disemprotkan, maka akan terjadi pendinginan permukaan bahan bakar yang dapat mencegah proses penguapan bahan bakar tersebut [Ziu, 2000].

Pada bahan bakar solid, temperatur tertinggi ternyata terletak pada bagian tengah tumpukan, sehingga kabut air membutuhkan waktu untuk masuk/intrusi ke bagian tengah tumpukan dan dasar tumpukan untuk memadamkannya (membuat bara api mati). Apabila pada permukaan solid sudah padam, namun pada bagian dasar dan tengah tumpukan belum padam (masih ada bara api) maka akan terjadi nyala api lagi. Sebenarnya pemadaman bahan bakar solid ini dipengaruhi oleh fluks air yang disemprotkan ke nyala bara api tersebut. Semakin banyak fluks yang disemprotkan, akan semakin cepat waktu penurunan temperaturnya.

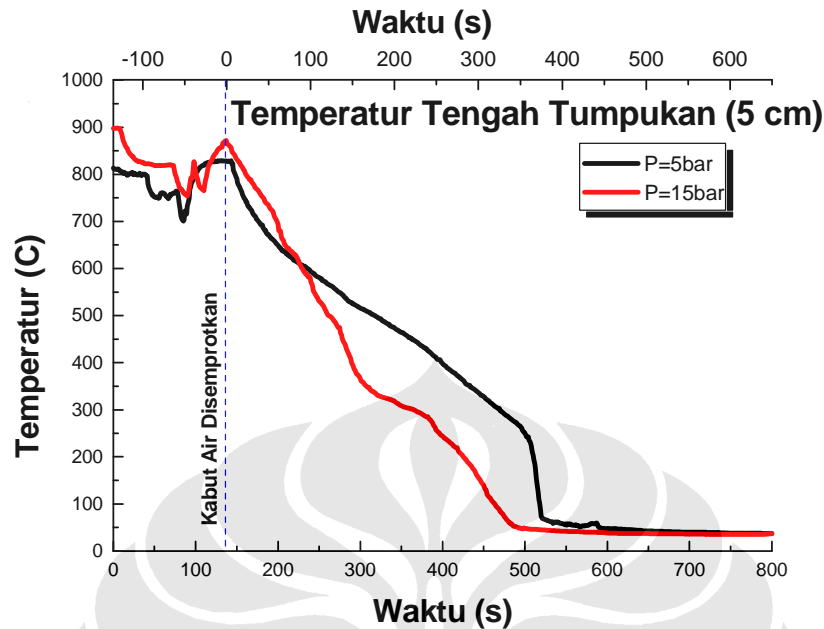
Menurut teori [Mawhinney, J.R, 2002] ada beberapa mekanisme pemadaman api yaitu:

- *Primary Mechanisms:*
  - *Gas phase cooling*
  - *Oxygen depletion and flammable vapor dilution*
  - *Wetting and cooling of the fuel surface*
  
- *Secondary Mechanisms:*
  - *Radiation attenuation*
  - *Kinetic effects*

Untuk pemadaman solid fuel, mekanisme paling penting untuk pemadaman adalah *Wetting and cooling of the fuel surface*.

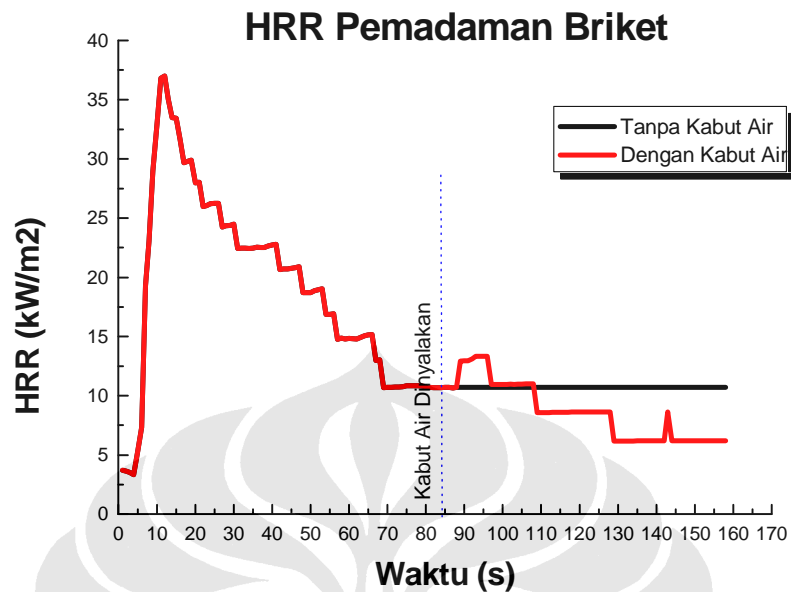


Gambar 4.20 Temperatur Pada Dasar Tumpukan Briket Batubara



Gambar 4.21 Temperatur Pada Tengah Tumpukan Briket Batubara

Grafik diatas memperlihatkan pengaruh tekanan terhadap kecepatan waktu penurunan temperatur pada bagian tengah tumpukan (5 cm) dan bagian dasar tumpukan (10 cm). Terlihat bahwa pada tekanan 15 bar baik pada tengah maupun dasar waktu penurunan temperatur yang lebih cepat dibandingkan dengan tekanan 5 & 10 bar. Ada hal menarik yang dapat dilihat dari grafik diatas, yaitu dengan peningkatan tekanan, akan terjadi fluktuasi temperatur pada bagian dasar tumpukan. Semakin besar tekanan yang diberikan akan semakin besar pula fluktuasi temperatur pada bagian tersebut. Ini disebabkan pada tekanan 15 bar fluks air dan momentum yang diberikan tinggi, hal tersebut mengakibatkan ada udara yang tertarik ke dalam aliran spray. Semakin tinggi tekanan yang diberikan, maka kecepatan udara yang masuk akan semakin tinggi. Udara tersebut yang menjadikan adanya kenaikan temperatur kembali, karena adanya tiupan sehingga bara api dapat menyala kembali. Semakin kecil tekanan yang diberikan, maka akan semakin kecil momentum awal dari kabut air, sehingga olakan/pergerakan udara dapat lebih halus (*smooth*).



Gambar 4.22 Laju Produksi Kalor Pembakaran Briket Dengan Penyemprotan

Grafik diatas memperlihatkan laju produksi kalor (HRR) saat briket mulai dibakar, sampai dengan adanya penyemprotan kabut air. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa adanya puncak HRR ini terjadi karena pembakaran arang untuk menginisiasi pembakaran briket. Pembakaran briket yang sesungguhnya terjadi pada sekitar detik ke-70, dan nilai HRR akan stabil sampai bahan bakar briket tersebut habis. Pada sekitar detik ke-80 kabut air dinyalakan, maka akan terjadi penurunan nilai HRR dari pembakaran tersebut. Penurunan nilai HRR ini menunjukkan adanya pengurangan pembakaran yang terjadi, sampai pada akhirnya akan benar-benar padam. Penggunaan lima buah nosel (jarak 8 cm) ternyata masih belum terlalu efektif untuk memadamkan pembakaran bahan bakar solid, karena memang dibutuhkan fluks yang besar untuk memadamkan pembakaran yang terjadi. Saat ini belum ada penelitian yang berhasil melakukan pemadaman solid fuel ini menggunakan sistem kabut air. Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem kabut air ini masih perlu dikembangkan cara dan metodenya untuk dapat memadamkan jenis kebakaran solid fuel ini. Sehingga waktu pemadaman dapat dipersingkat dan keefektifan akan meningkat.

# **BAB V**

## **PERANCANGAN ALAT PEMADAM API RINGAN (APAR)**

### **5.1 DEFINISI DAN JENIS-JENIS APAR**

Alat Pemadam Api Ringan atau yang biasa disebut dengan APAR merupakan pertahanan pertama bila terjadi kebakaran. Sedangkan menurut NFPA (National Fire Protection Association) definisi dari APAR itu sendiri adalah peralatan portabel yang dapat dibawa dengan tangan atau beroda dan dioperasikan dengan tangan, berisi bahan pemadam yang dapat disemprotkan oleh tekanan dengan tujuan memadamkan api kebakaran.

Media pemadam dalam APAR itu sendiri dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan kelas kebakaran, yaitu:

1. Kimia kering / Dry Chemical

Media yang digunakan dalam APAR ini adalah partikel-partikel kimia yang mencakup sodium bikarbonat, potassium bikarbonat, potassium bikarbonat berbahan dasar urea, potassium klorida atau mono kromonium fosfat yang dicampur secara khusus sehingga dapat menyerap panas. Cara kerja dari pemadam ini adalah dengan merusak reaksi kimia pembakaran dengan membentuk lapisan tipis pada permukaan bahan yang terbakar. Untuk jenis dapat digunakan untuk kelas kebakaran A, B maupun C.

2. Foam

AFFF atau Aqueous Film Forming Foama dalah campuran busa yang dilarutkan dalam air, berfungsi sebagai penghalang tercampurnya udara dengan uap bahan bakar dengan cara membentuk lapisan film hidrokarbon pada permukaan bahan bakar untuk menekan timbulnya uap bahan bakar. Biasanya digunakan untuk jenis kelas kebakaran D.

### 3. Halon

Media ini merupakan senyawa gas hidrokarbon yang salah satu atau lebih gugus hidrogennya diganti dengan atom halogen atau atom bromine. Sifatnya stabil. Cara kerja dari jenis pemadam ini adalah dengan mengikat oksigen, sehingga memutus rantai reaksi kimia pada proses pembakaran. Biasanya digunakan untuk memadamkan jenis kelas kebakaran C. Namun saat ini sudah jarang digunakan karena mempunyai efek samping terhadap ozon.

### 4. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

Media yang digunakan dalam APAR ini adalah gas CO<sub>2</sub>. Cara kerja dari pemadam jenis ini adalah dengan menyingkirkan oksigen dari area kebakaran dan memisahkannya dari bahan bakar, karena CO<sub>2</sub> lebih berat dibandingkan dengan oksigen. Karena gas CO<sub>2</sub> tersimpan dalam fasa cair dengan tekanan tinggi, maka suhunya pun sangat rendah (dibawah - 78°C), sehingga pemadamannya juga dilakukan dengan metode pendinginan. Media ini biasanya digunakan untuk jenis kebakaran kelas C.

### 5. Air

APAR yang berisi air biasanya berwarna perak. Isi apar ini adalah air murni yang disimpan dalam sebuah tabung bertekanan. Untuk jenis pemadam ini biasanya digunakan hanya untuk jenis kebakaran kelas A saja.

### 6. Powder / Bubuk Kelas D

Bahan powder ini khusus digunakan untuk kelas kebakaran D atau kebakaran yang melibatkan bahan dasar logam. Bahan dari powder ini adalah campuran antara sodium klorid dan material thermoplastik.



## 7. Kimia basah / Wet Chemical

Pemadam jenis kimia basah merupakan campuran berbahan dasar potassium asetat yang digunakan untuk memadamkan bahan yang digunakan dalam proses memasak. Cara kerja dari jenis pemadam ini adalah dengan mendinginkan bahan yang terbakar dan membentuk lapisan yang memisahkan antara api dan udara.

Tabung APAR terbagi atas beberapa jenis, yaitu:

### 1. Tabung bertekanan / Stored Pressure

Dalam tabung ini terdapat gas bertekanan yang berfungsi sebagai pendorong media pemadam (Nitrogen, CO<sub>2</sub>, atau jenis gas lainnya) pada saat tuas tabung ditekan. Ciri utama dari tabung ini yaitu adanya penunjuk tekanan (pressure gauge) pada bagian atas tabung. Bila jarum menunjukkan area hijau maka tekanan dalam tabung tersebut masih dalam keadaan baik.

### 2. Tipe Cartridge

Ciri-ciri dari tabung ini adalah adanya tabung kecil / cartridge yang berisi gas penekan yang terletak di bagian bawah tuas. Pada saat akan digunakan maka tuas tabung harus dipukul terlebih dahulu agar jarum yang ada pada bagian bawah tuas melubangi cartridge, sehingga gas akan keluar dan mengisi seluruh tabung. Gas inilah yang akan menjadi pendorong untuk media pemadam yang ada di dalam tabung tersebut.

## **5.2 DESAIN ALAT PEMADAM API RINGAN (APAR) DENGAN SISTEM KABUT AIR**

Dalam merancang alat pemadam api ringan (APAR) dengan sistem kabut air perlu diperhatikan beberapa hal antara lain, jumlah kapasitas air yang diperlukan, cakupan spray, dan mekanisme kerjanya. Perhitungan terhadap faktor-faktor tersebut dianggap penting karena menentukan kinerja dan keberhasilan kerja alat. Desain APAR yang akan dibuat yaitu menggunakan pressure vessel dan tabung nitrogen yang terpisah. Prinsip kerjanya sama dengan sistem kabut air yang telah

ada sebelumnya. Perbedaannya hanyalah dimensi dan desain dari pressure vessel. Untuk tabung nitrogennya, menggunakan tabung yang sudah dijual di pasaran.

Tahapan awal dari perancangan ini adalah menentukan tekanan kerja yang diinginkan. Berdasarkan karakteristik kabut air yang telah didapat, maka tekanan kerja yang optimal yaitu pada tekanan 10 bar. Dengan tekanan penekan maksimal 10 bar, maka dibutuhkan sekitar 2700 ml air sampai dengan tekanan tersebut habis. Prinsipnya yaitu tekanan dan air harus sama-sama habis, sehingga pemadaman akan efektif. Untuk membuat pressure vessel dengan volume 2700 ml dengan diameter sebesar 10.96 cm, tingginya menjadi 28.62 cm. Dengan desain kekuatan mencapai 35 bar. Untuk perhitungan kekuatannya, maka menggunakan analisa perhitungan silinder.

Berdasarkan ASME section VIII part UG-27, diketahui bahwa tebal minimum atau tekanan maksimum suatu silinder yang digunakan sebagai pressure vessel harus sesuai dengan salah satu rumus (1) atau (2) berikut:

(1) Tegangan melingkar

Jika tebal dinding silinder tidak melebihi 1,5 diameter dalam silinder, atau P tidak lebih dari 0,385 SE, maka rumus yang digunakan adalah:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad \text{atau} \quad P = \frac{SEt}{R + 0,6t}$$

(2) Tegangan longitudinal

Jika tebal dinding silinder tidak melebihi 1,5 diameter dalam silinder, atau P tidak lebih dari 1,25 SE, maka rumus yang digunakan adalah :

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P} \quad \text{atau} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0,4t}$$

Dimana :

t = tebal minimum yang dibutuhkan (in)

P = tekanan dalam (psi)

R = jari-jari dalam (in)

S = tegangan maksimum yang diizinkan (psi)

E = Effisiensi sambungan

Selain itu juga harus dipertimbangkan untuk memasukkan safety factor dalam perhitungan, untuk menjaga keamanan desain yang dibuat. Safety factor tersebut dinyatakan dalam :

$$F_s = \frac{S_m}{S}$$

S = Tekanan maksimum yang diijinkan

$S_m$  = Strength of Material (Yield Strength for ductile, UTS for brittle)

$F_s$  = Safety factor

Untuk pembuatan desain preassure vessel ini ditetapkan safety factor sebesar 1,8. Nilai ini dipilih karena tekanan yang diterima oleh preassure vessel yakni mencapai 435.11 psi atau 30 bar. Preassure vessel ini dibuat dari bahan stainless steel, sehingga perhitungan tebal dindingnya adalah:

Material : Stainless Steel tipe 304

TYPE 304 STAINLESS STEEL												
Spec. No.	Grade	Specified Minimum Strengths at Room Temperature		Maximum Allowable Stress, ksi, for Temperatures, <sup>1</sup> °F, Not Exceeding								
		Tensile, ksi	Yield, ksi	-320	-300	-250	-200	-150	-100	-50	0	100
SA-240	304	75.0	30.0	20.7	20.6	20.3	20.0	19.7	19.4	19.1	18.8	18.8

Dari data sheet spesifikasi kerja nosel diperoleh informasi sebagai berikut :

$S_m = 30 \text{ ksi} = 30.000 \text{ psi}$

$P_{max} = 1000 \text{ psi}$

$D = 4 \text{ in} \rightarrow R = 2 \text{ in}$

$E = 0,9$

$F_s = 1,8$

Pertama-tama, harus ditentukan tekanan maksimum yang dapat diterima preassure vessel dengan cara menggunakan safety factor.

$$S = \frac{S_m}{F_s} = \frac{30.000}{1,8} = 16.666,67$$

sehingga

$$S.E = 16.666,67 \times 0,9 = 15.000$$

Besarnya tebal dinding silinder tersebut berdasarkan tiap-tiap tegangan yang diterimanya adalah:

1) Tegangan melingkar :

Terpenuhi jika :

$$P < 0,385.S.E$$

$$435.11 < 0,385 \times 15.000$$

$$435.11 < 5775 \rightarrow \text{Sesuai syarat}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{435.11 \times 4}{15000 - (0,6 \times 435.11)} = 0,059in$$

$$t = 0.15cm = 1.5mm$$

2) Tegangan Longitudinal :

Terpenuhi jika :

$$P < 1,25 S.E$$

$$435.11 < 1,25 \times 15.000$$

$$435.11 < 18750 \rightarrow \text{Sesuai syarat}$$

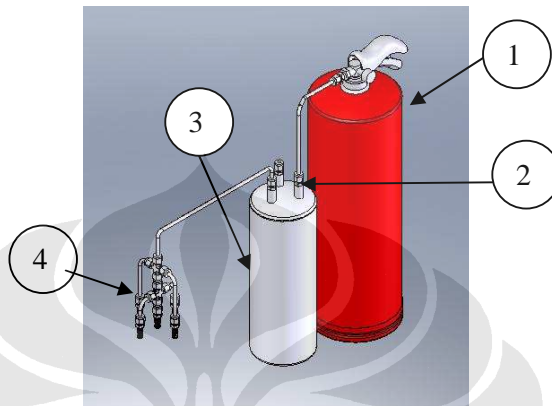
$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P}$$

$$t = \frac{435.11 \times 2}{(2 \times 15000) + (0,4 \times 435.11)} = 0.0288in$$

$$t = 0.074cm = 0.74mm$$

Dari kedua nilai yang ada diambil nilai yang terbesar, maka tebal dinding silinder pressure vessel minimum adalah 0.059 (0,15 cm). Pada bagian tutup preassure vessel juga dibuat tiga buah saluran, yaitu saluran pertama sebagai saluran gas nitrogen masuk, kemudian saluran keluar air dan saluran preassure relief. Saluran gas yang masuk dan air yang keluar harus mencapai ke bagian terbawah wadah preassure vessel agar mampu mengkompresikan air secara maksimal. Sedangkan saluran preassure release dibuat tidak boleh menyentuh air.

Berikut ini merupakan desain APAR yang akan dibuat :

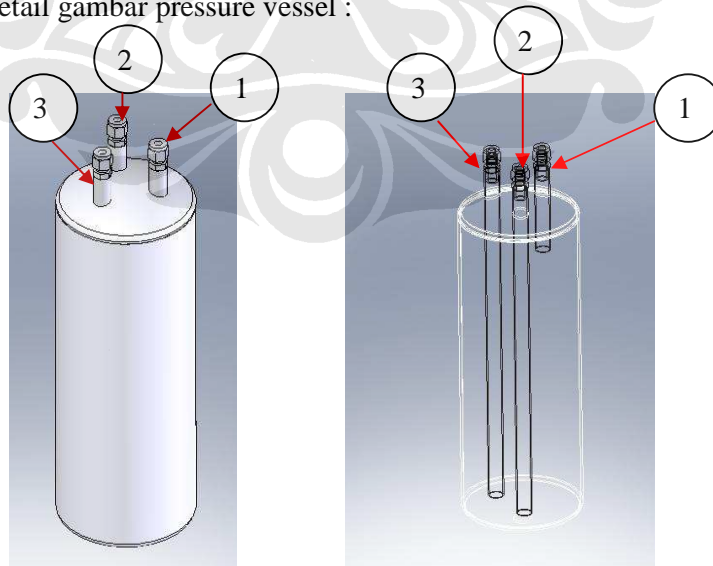


Gambar 5.1 Desain APAR Kabut Air

Keterangan gambar :

1. Tabung Nitrogen bertekanan
2. Saluran Masuk Nitrogen, Saluran Keluar Air & Pressure Relief
3. Lima Nosel diameter luar (8cm)

Berikut ini detail gambar pressure vessel :

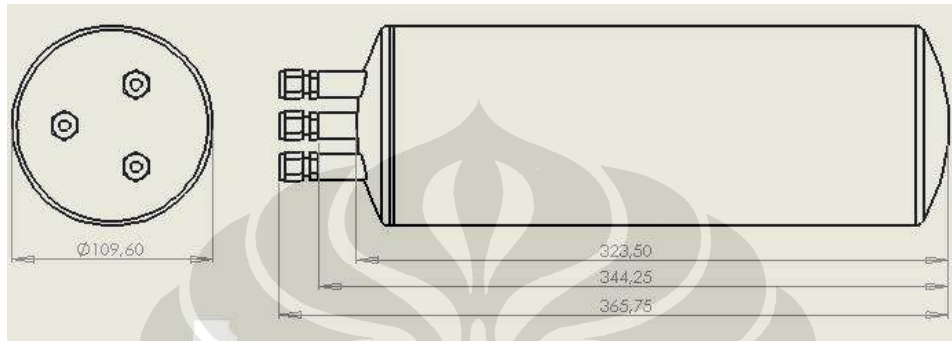


Gambar 5.2 Rancangan Pressure Vessel APAR

Keterangan :

1. Pressure Relief
2. Aliran Masuk Nitrogen bertekanan
3. Aliran keluar Air Menuju Nosel

Detail ukuran pressure vessel :



Gambar 5.3 Ukuran Rancangan Pressure Vessel

Cara kerja :

Pada dasarnya perancangan APAR ini memiliki prinsip kerja yang sama dengan sistem kabut air skala laboratorium yang telah ada. Nitrogen akan menekan air didalam pressure vessel, menyebabkan air mengalir ke nosel. Nosel membuat aliran air menjadi kabut air. Tabung nitrogen yang digunakan berukuran kecil yang berisi tekanan sekitar 10 bar. Dengan tekanan 10 bar dibutuhkan volume air sebesar  $2700 \text{ cm}^3$ , untuk sama-sama habis.

Kendala :

Pembuatan APAR sistem kabut air ini memiliki beberapa kendala antara lain, jumlah air yang terbatas (karena terbatasnya ukuran pressure vessel). Desain yang saat ini dirancang hanya cukup untuk memadamkan api (mengeluarkan air) selama  $\pm 10$  menit. Semakin besar kapasitas air yang diinginkan, maka akan semakin besar volume pressure vessel yang dibutuhkan. Sedangkan untuk desain APAR harus memiliki desain yang kompak dan tidak menyulitkan (membawa, dan menggunakan).