

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI POSISI PENYEMPROTAN DAN JARAK NOSEL TERHADAP WAKTU PEMADAMAN SISTEM PEMADAMAN KABUT AIR

I G N Bagus Mahendra Putra ^{1, 2)}**, Ainul Ghurri ³⁾**, dan I Wayan Widhiada ³⁾

¹⁾S2 Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Universitas Udayana
Jl. Sudirman, Denpasar, Bali 80114

²⁾BPBD Kota Denpasar, Jalan Imam Bonjol No. 176, Denpasar

*Email: mahendraputra1976@gmail.com

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

**Email: a.ghurri@gmail.com

Abstrak

Sistem pemadaman kebakaran berbasis air telah banyak dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih efektif dan efisien. Para peneliti dari berbagai negara telah mulai mengembangkan sistem baru untuk menggantikan sistem konvensional. Sistem pemadam kebakaran berbasis kabut air digunakan karena lebih efektif dan efisien dalam mengurangi energi panas pada kebakaran. Keefektifan sistem ini sangat tergantung pada posisi api, posisi nosel dan distribusi spray kabut air. Jarak dan posisi semprotan kabut air akan berpengaruh pada cakupan dan momentum kabut air menembus api. Pada paper ini, pengaruh dari posisi penyemprotan dan jarak nosel terhadap bahan bakar akan diteliti. Penggunaan kabut air untuk memadamkan api berjenis kolam api dilakukan dengan variasi posisi penyemprotan (atas dan samping) dan variasi jarak nosel ke api (20 cm, 25 cm, dan 30 cm). Hasil penelitian menunjukkan penyemprotan kabut air cukup efektif untuk memadamkan api berjenis pool fire. Variasi jarak nosel berpengaruh terhadap waktu pemadaman. Makin jauh jarak semprotan, makin lama waktu yang dibutuhkan untuk memadamkan api. Jarak nosel mempengaruhi cakupan dan kekuatan penetrasi kabut air ke dalam permukaan api. Posisi penyemprotan dari atas dan dengan jarak nosel 20 cm menghasilkan waktu pemadaman tercepat. Pengaruh dari jarak semprotan dan posisi semprotan terhadap waktu pemadaman berbanding lurus dengan volume air yang digunakan untuk memadamkan api. Makin dekat jarak semprotan dan dengan posisi semprotan dari atas menghasilkan waktu pemadaman tercepat dan konsumsi air yang paling sedikit. Hasil pengujian dengan sistem pemadaman berbasis kabut air akan lebih efektif jika dilakukan dekat dengan sumber api dan posisi semprotan dari atas api apabila momentum yang dimiliki tidak cukup kuat untuk menembus api.

Kata kunci: kabut air, Image J, jarak semprotan, posisi semprotan, waktu pemadaman, konsumsi air

Abstract

Water-based fire extinguishing system was developed for more efficient in their consumption. Researches from different countries have already started to develop system for replace the conventional system. Water mist suppression system was used because more efficient and effective in reducing the heat energy. This system is highly dependent on the position of fire, position of nozzle and spray distribution. The distance and position spray of watermist will affect the scope and momentum to penetrate the fire. In this paper, effect of variation spaying position and distance nozzle for time of extinction was investigated. The use of water mist for extinguishing pool fire under different spray position (top and right side) and with different distance of nozzle to fire(20 cm, 25 cm, dan 30 cm). Experiment results showed water mist produced quite effective to extinguish the fire. Spraying distance variation affects speed of suppress period. The further the spray length, the longer the suppression time. Distance of spray nozzle affects scope and power of penetration water mist into the surface fire.

* Penulis Korespondensi : mahendraputra1976@gmail.com

Suppression position from above and at a distance of 20 cm resulted the fastest suppression time. Effect of spray distance and spray position against suppression time is directly proportional to the volume of water used for extinguish the fire. More closer spray distance and with position from the top result the fastest time of suppression and least water consumption also. Results of testing with water mist suppression system will be more effective if it is done at a short distance to the fire source and the position of spraying from above the fire source when momentum is not strong enough to penetrate the fire.

Keywords: water mist, Image J, spray distance, spray position, suppression time, water consumption

1. PENDAHULUAN

Sistem proteksi aktif untuk mengurangi dampak kebakaran dapat dimulai dari penggunaan sistem pendeteksi kebakaran seperti : springkler, *smoke detector*, *heat detector*, APAR, dan *fire alarm*. Penggunaan sistem proteksi ini ternyata memiliki sejumlah kekurangan. Sistem springkler sering memiliki kelemahan pada sistem pengeluaran airnya yang terlalu banyak, sehingga rentan merusak peralatan elektronik yang terkena semprotannya. Sedangkan APAR sendiri memiliki kelemahan pada pemakaian zat yang digunakan seperti : halon dan serbuk kimia kering yang tidak ramah lingkungan. Saat ini telah dikembangkan pemakaian kabut air (*water mist*) untuk pemadaman semua kelas api karena memiliki keuntungan lebih efektif dan ramah lingkungan. Perubahan phase dari air ke kabut sangat efektif dalam mengurangi energi panas. Performa pemadaman dengan kabut air sangat tergantung pada posisi api, lokasi nosel dan distribusi dari pola *spray* [1]. Posisi nosel dan posisi penyemprotan akan menjadi salah satu pertimbangan dalam menguji keefektifan mekanisme pemadaman api dengan kabut air.

Pada suatu *pool fire*, api yang dihasilkan dari proses pencampuran bahan bakar dan oksigen dengan sumber panas yang cukup akan mempertahankan nyala api apabila kesetimbangan elemen api tidak terganggu [2]. Hal ini diakibatkan oleh adanya penguapan dan terjadinya suatu reaksi kimia bahan bakar cair akibat panas yang ditimbulkan oleh nyala api. Dalam suatu penyebaran nyala api, laju pembakaran akan sama dengan laju suplai gas *combustible* bahan bakar, dimana laju pembakarannya (\dot{m}) dapat ditulis secara umum dengan persamaan [3] :

$$m = \frac{Q_F'' - Q_L''}{L_V} \quad (1)$$

Keterangan :

Q_F'' : *heat flux* suplai dari api (kW/m²)

Q_L'' : panas yang hilang atau *heat flux* dari permukaan bahan bakar

L_V : panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan material *combustible* dalam fase gas (kJ/kg) atau panas *latent* dari penguapan bahan bakar.

Untuk mengetahui besarnya *heat release rate* pada risiko api yang berasal dari pembakaran *pool fire* dengan diameter lebih kecil dari 0.2 meter ($D < 0.2$ m) yaitu:

$$Q = \Delta h_c \dot{m}^\infty (1 - e^{-K\beta D}) \times A$$

(2)Keterangan :

Q : laju pelepasan panas (*heat release rate*) *pool fire* (kW)

Δh_c : *effective heat of combustion* (kJ/kg)

\dot{m}^∞ : *asymptotic mass burning rate for large fire diameter* (kg/m² s)

$K\beta$: *empirical constant*

A : luas permukaan bahan bakar (m²)

Untuk besarnya *mass burning rate* pada suatu *pool fire* maka dapat digunakan persamaan:

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-(K\beta D)})$$

(3)Keterangan :

$$\dot{m}'' : \text{mass burning rate pool fire (kgm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{)}$$

Massa dari material yang terbakar persatuan waktu dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus waktu pembakaran bahan bakar, dimana :

$$tb = \frac{4V}{\pi D^2 \cdot v} \quad 4)$$

Keterangan :

V : volume bahan bakar cair (m^3)

D : diameter pool fire (m)

v : laju pembakaran/*regression rate* (ms^{-1})

Bahan bakar cair yang terbakar dan bahan bakar yang dipakai dalam proses pembakaran akan berkurang seiring dengan laju pembakaran (*regression rate*) yang didefinisikan sebagai *loss volumetric* dari bahan bakar cair per satuan luas area dalam satuan waktu seperti pada persamaan :

$$v = \frac{m}{\rho_{fuel}} \quad (5)$$

Keterangan :

\dot{m}'' : mass burning rate pool ($\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

ρ_{fuel} : massa jenis bahan bakar (kgm^{-3})

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

$$H_f = (0.235 Q^{2/5}) - 1.02 D \quad (6)$$

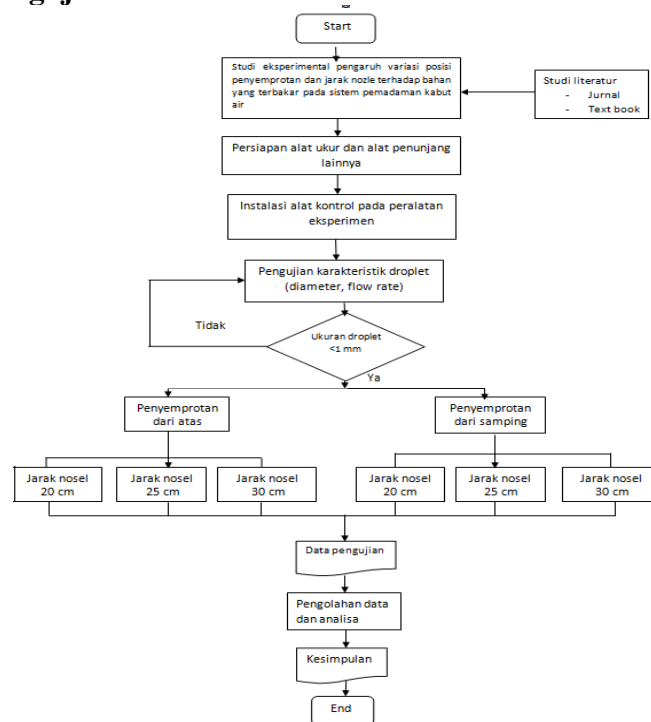
Keterangan :

Q : laju produksi kalor (KW)

D : diameter dari pool fire

2. METODE

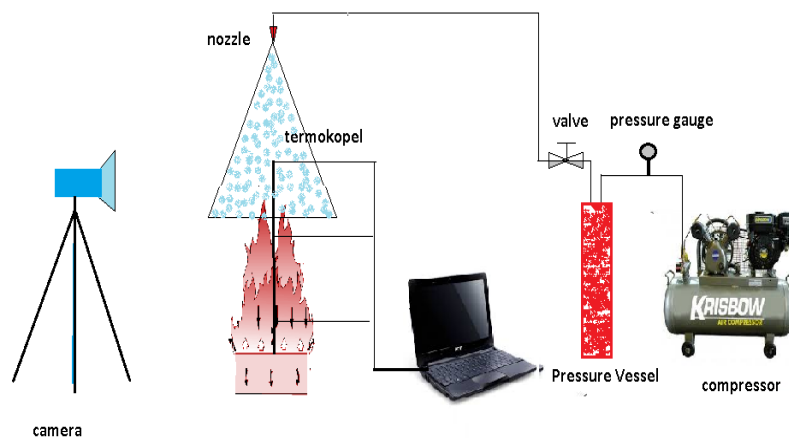
2.1 Diagram Alir Pengujian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Proses Pengambilan Data

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sistem pemadaman kabut air yang akan dilakukan dengan variasi posisi penyemprotan (atas dan samping) dan variasi jarak nosel terhadap bahan yang terbakar (20 cm, 25 cm dan 30 cm). Data yang di dapat dari pengamatan kamera video akan diolah menggunakan program *Image J* untuk mendapatkan ukuran droplet kabut air dan sudut semprotan (Θ). Penelitian ini menggunakan alat penghasil kabut air yang terdiri atas sebuah tabung pressure vessel dengan tekanan kerja sebesar 4 bar, nosel single fluid dengan diameter orifice 0.3 mm, dan compressor yang didesain sesuai Gambar 2. Wadah bahan bakar uji berukuran diameter 7 cm dan tinggi 5 cm dengan bahan bakar alkohol. Volume air awal yang digunakan adalah 5 liter. Spray kabut air yang dihasilkan oleh sistem didokumentasikan dengan kamera Casio Exillim EX-ZR 1500 dan Canon DSLR EOS 60D.



Gambar 2. Skema instalasi pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Pool Fire

Data karakteristik pool fire yang didapat dari penelitian adalah laju pembakaran bahan bakar, laju produksi kalor, tinggi nyala api dan temperatur nyala api [4] :

1. Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi Kalor :

$$\begin{aligned} \dot{m}'' &= 0,017 \times (1 - \exp^{-100 \times 0,07}) \\ &= 16,984 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s} \end{aligned}$$

2. Laju produksi kalor (HRR) :

$$\begin{aligned} Q \text{ (HRR)} &= 20.000 \times 16,984 \times 10^{-3} \times (3,14 \times 0,07^2 \times 0,25) \\ &= 1,307 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Tinggi Nyala Api :

$$\begin{aligned} H_f &= (0,235 \times 1,307^{2/5}) - 1,02 \times 0,07 \\ &= 0,19 \text{ m} = 19 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan real di lapangan didapat tinggi flame adalah ± 18 cm.

4. Waktu Nyala Api :

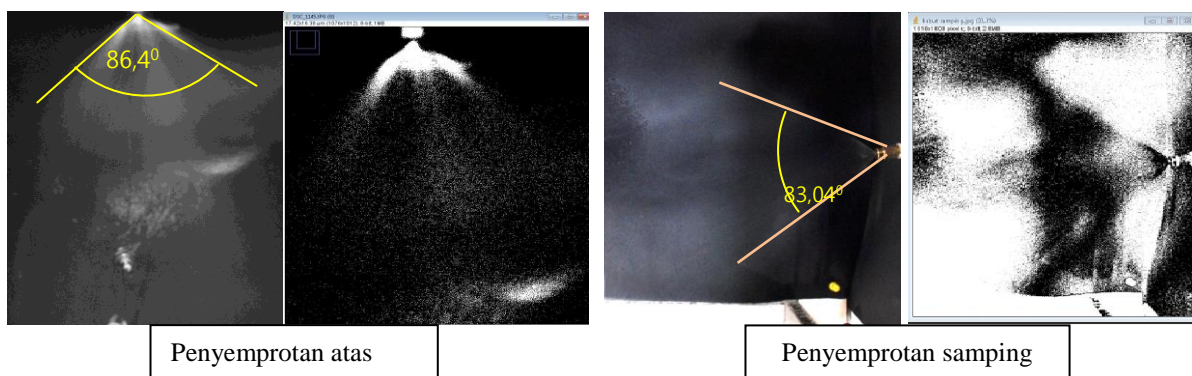
$$tb = \frac{4V}{\pi D^2 \cdot v}$$

$$v \text{ didapat dari rumus } v = \frac{m}{\rho \cdot fuel} = \frac{16,984 \times 10^{-3} \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{s)}}{796 \text{ (kg/m}^3)} = 0,0000213 \text{ m/s}$$

$$tb = \frac{(4 \times 0,0002)}{(3,14 \times 0,07^2 \times 0,000213)} = 2453,59 \text{ sec} = 40,59 \text{ menit}$$

3.2. Pengolahan Data Visual Kabut

Gambar 3 di bawah ini menunjukkan kabut air yang dihasilkan dengan tekanan kerja kompresor sebesar 4 bar dengan sudut semprotan kabut air sebesar $86,4^\circ$ (semprotan atas) dan sebesar $83,04^\circ$ (semprotan samping) dan hasil pengolahan dengan *Image J*. Besar sudut semprotan arah atas dan samping yang dihasilkan sistem memiliki selisih perbedaan yang tidak begitu besar karena adanya beberapa faktor yang ikut menjadi penghambat semprotan, antara lain : gaya gravitasi, arah dan kecepatan angin. Untuk mengetahui distribusi butiran semprotan pada tiap pengujian, digunakan program *Image J*.



Gambar 3. Pengukuran sudut semprotan dan hasil Image J kabut air

Sedangkan untuk hasil keseluruhan distribusi butiran yang ada pada semprotan kabut air dimuat pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini.

Tabel 1. Data distribusi butiran semprotan kabut air dari arah atas

No	Slice	Count Skew	Total Area	Average Size (μm)	% Area	Mean (μm)
1	Image 1	81	21941.23	270.88	52.18	255
2	Image 2	23	7210.32	313.49	52.69	255
3	Image 3	52	11010.68	211.74	50.00	255
Average size				265.37		

Tabel 2. Data distribusi butiran semprotan kabut air dari arah samping

No	Slice	Count Skew	Total Area	Average Size (μm)	% Area	Mean (μm)
1	Image 4	24	8707.55	362.82	68.79	255
2	Image 5	134	125388.45	935.74	71.20	255
3	Image 6	63	58472.63	928.14	8.81	255
Average size				742.22		

Keterangan :

Slice : gambar potongan spray

Count skew : jumlah butiran yang terukur

Total area : total area butiran yang diukur

Average size : ukuran rata-rata diameter butiran

% Area : luas area terukur dalam persen

Mean : diameter rata-rata

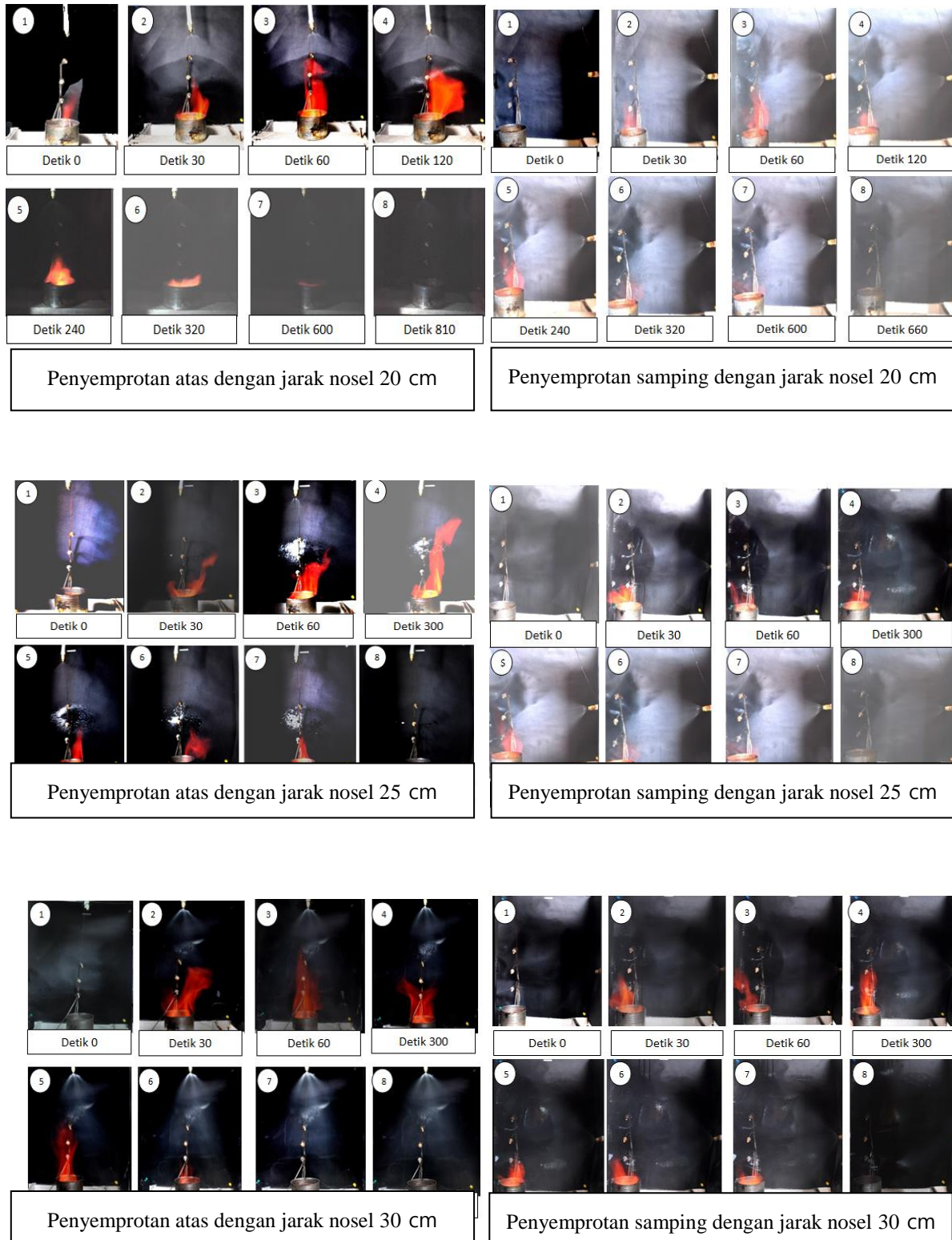
Hasil pengolahan data dengan menggunakan program *Image J* diatas menunjukkan dari *rectangle* jumlah total butiran kabut air yang diukur dari semprotan arah atas adalah 156 butiran dengan ukuran rata – rata butiran yang dihasilkan adalah 265.372 μm (0,265 mm), sedangkan dari semprotan arah samping menunjukkan dari *rectangle* jumlah total butiran 221 butiran dengan diameter rata – rata butiran 742.229 μm (0,742 mm). Hasil ini menunjukkan bahwa kabut air yang dihasilkan sistem pada penelitian ini memenuhi syarat untuk disebut sebagai kabut air (*water mist*).

3.3. Pengolahan Data Distribusi Temperatur Api

Dari data temperatur api yang diukur dengan menggunakan 3 buah termokopel dapat diketahui bahwa pemadaman api dengan metode penyemprotan kabut air pada jarak 30 cm dari atas (vertikal) ataupun dari arah samping (horisontal) memerlukan waktu yang paling lama dibandingkan dengan jarak penyemprotan 25 cm dan 20 cm. Pola kabut yang terbentuk pada jarak 30 cm tidak fokus membentuk pola sudut yang teratur bila dibandingkan dengan jarak 20 cm. Semakin jauh kabut air meninggalkan nosel, kabut air akan kehilangan penetrasinya karena energi kinetiknya habis untuk melawan hambatan dari udara sekitar. Sebagian kabut air juga akan menguap karena pengaruh panas api pada sistem. Kabut air yang jatuh akan mengalami perlambatan dan jatuh bebas tanpa pengaruh tekanan nosel lagi. Sedangkan pada jarak semprotan yang lebih dekat, momentum yang dihasilkan akan semakin besar.

Bentuk visual dari penyemprotan kabut air pada api digambarkan pada gambar 4 di bawah ini. Pada gambar dapat dilihat bahwa penetrasi kabut air ke dalam api mempengaruhi bentuk dan tinggi api yang ada. Pada detik ke 0 sampai ke 30 api dinyalakan sampai dalam posisi stabil. Pada detik ke 31 ketika kabut air sudah mulai dinyalakan terlihat terjadi

perubahan warna, bentuk dan tinggi api. Api menjadi berwarna merah menyala dan bergerak tidak stabil. Ini berlangsung terus sampai akhirnya api mulai mengecil dan akhirnya padam. Hal ini disebabkan pada saat awal pengaktifan kabut air, temperatur api akan mengalami peningkatan intensitas api yang disebabkan karena pasokan udara dalam sistem bertambah. Uap bahan bakar akan terbakar dan membentuk nyala api menjadi semakin besar.



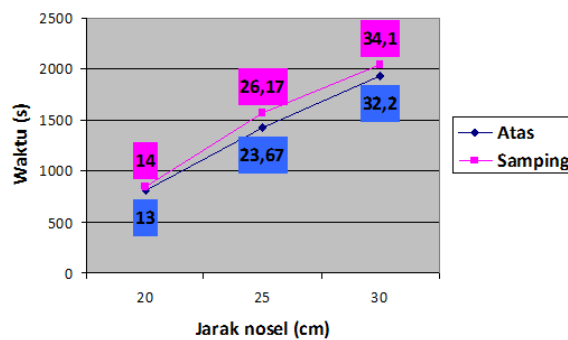
Gambar 4. Perbandingan visual api

Bentuk dan pola api yang terjadi pada semprotan samping relatif sama dengan visual api saat pemadaman dari atas. Perbedaan yang terjadi ada pada waktu pemadaman yang diperlukan. Waktu pemadaman dengan penyemprotan kabut air dari arah samping memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan dari atas. Visual api yang terlihat pada penyemprotan dari arah atas memiliki tinggi nyala api yang lebih tinggi dibandingkan penyemprotan dari samping. Semprotan kabut air dari arah atas menghasilkan cakupan kabut air (*spray coverage*) yang cukup besar untuk menutupi seluruh permukaan api. Cakupan semprotan yang besar akan lebih efektif untuk memadamkan api diatas permukaan *pool fire*. Sedangkan semprotan kabut air dari arah samping menghasilkan cakupan kabut air yang tidak cukup efektif untuk menutupi seluruh permukaan api, walaupun semprotan ini juga bisa memadamkan api. Hal ini disebabkan karena kabut air yang dihasilkan oleh sistem pemadaman masih tetap memiliki momentum dan tekanan yang cukup untuk menembus api. Kabut air digunakan untuk menyerap panas dari api dan mendinginkan alkohol yang terbakar di bawah temperatur pengapiannya.

Perbandingan waktu pemadaman yang diperoleh dengan variasi jarak dan posisi tersebut bisa dilihat pada tabel 3 dan gambar 5 di bawah ini. Makin dekat jarak penyemprotan memberikan pengaruh pada makin cepatnya waktu pemadaman api. Sedangkan faktor posisi penyemprotan juga memberikan pengaruh pada kecepatan pemadaman.

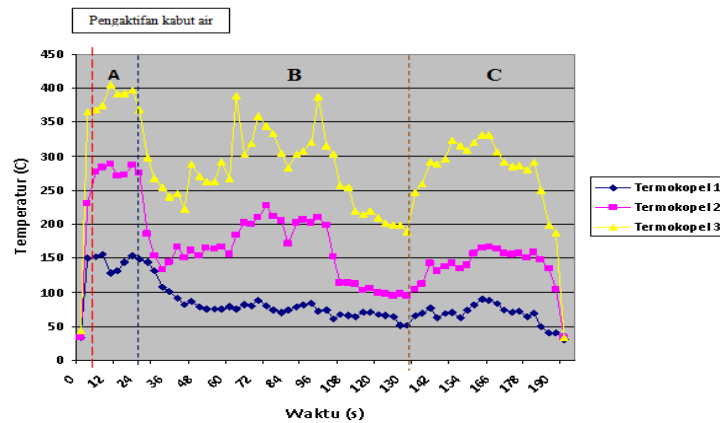
Tabel 3. Hubungan antara jarak semprotan, posisi semprotan dan waktu pemadaman

Posisi semprotan	Jarak semprotan		
	20 cm (detik)	25 cm (detik)	30 cm (detik)
Atas	810	1450	1932
Samping	830	1570	2046



Gambar 5. Grafik hubungan waktu pemadaman terhadap jarak nosel

Sedangkan untuk menggambarkan pengaruh waktu pemadaman terhadap distribusi temperatur dapat dilihat pada gambar 6. Saat 30 detik pertama, kabut air belum disemprotkan, terlihat peningkatan temperatur pada termokopel 1, 2 dan 3. Temperatur di termokopel 3 paling tinggi karena posisinya yang tepat berada di pusat api. Setelah kabut air disemprotkan ke api pada detik ke 31 terlihat temperatur di termokopel 1 mulai terlihat tidak mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena posisinya paling dekat dengan nosel. Sedangkan temperatur api di termokopel 2 dan 3 masih tetap mengalami peningkatan karena penetrasi kabut air ke dalam api belum bisa mempengaruhi temperatur.



Gambar 6. Grafik hubungan waktu pemadaman terhadap temperatur api pada penyemprotan atas dengan jarak nosel 30 cm

4. SIMPULAN

Penyemprotan kabut air cukup efektif untuk memadamkan api berjenis *pool fire*. Variasi jarak nosel pada sistem ini berpengaruh terhadap waktu pemadaman. Makin jauh jarak semprotan, makin lama waktu yang dibutuhkan untuk memadamkan api. Jarak nosel mempengaruhi cakupan dan kekuatan penetrasi kabut air ke dalam permukaan api. Posisi penyemprotan dari atas dan dengan jarak nosel 20 cm menghasilkan waktu pemadaman tercepat. Makin dekat jarak semprotan dan dengan posisi semprotan dari atas menghasilkan waktu pemadaman tercepat dan konsumsi air yang paling sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bannister, W. W.; Chen, C. C.; Euphantasate, N. 2001, Anomalous effects of water in firefighting: increased fire intensities by azeotropic distillation effects
- [2]. Drysdale, D. 2003, *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, John Wiley & Sons, New York.2003
- [3]. Babrauska, V. 2002, *Heat Release Rate, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, Section 3/Chapter 1,3rd Edition. p. 31 – 59
- [4]. Gottuk, D.,T., and White,D.A. 2002, *Liquid pool fire, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, Section 2/Chapter 15, 3rd Edition. p. 2-297
- [5]. NFPA 750, “*Standard for the Installation of Water mist Fire Protection Systems,*” National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, 2000 Edition. National Fire Protection Association, 2000
- [6]. Mawhinney, J. R., 1997. *Principles of Water mist Fire Suppression Systems.* International Conference on Fire Protection in the HVDC Industry, Vancouver, Canada, 1995