

Simulasi numerik rekonstruksi kebakaran di kapal

Bondan Hendar Adiwibowo^{1, a}, Muhammad Agung Santoso^{1, b *}, Firman Ady Nugroho^{1, c} dan Yulianto S. Nugroho^{1, d}

¹Departemen Teknik Mesin – Fakultas Teknik – Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok, 16424, Indonesia

^ahendarbondan@rocketmail.com, ^bagung_santoso@eng.ui.ac.id, ^cfirman_ady@eng.ui.ac.id,
^dyulianto@eng.ui.ac.id

Abstrak

Kebakaran merupakan fenomena kompleks tidak terkendali yang merupakan interaksi antara aliran fluida udara sekitar, transfer panas dan massa, struktur bangunan, dan reaksi kimia bahan mampu bakar. Karena sifatnya yang tidak terkendali, kebakaran dapat menimbulkan kerugian jiwa dan properti yang sangat memprihatinkan. Salah satu kejadian kebakaran yang mengkhawatirkan adalah kebakaran yang terjadi di kapal. Tindakan penanggulangan dapat direncanakan, salah satunya, dengan berlandaskan kejadian kebakaran yang telah terjadi. Simulasi numerik fenomena kebakaran sebagai alat studi dan rekayasa teknik merupakan salah satu perangkat yang dapat membantu kegiatan investigasi untuk rekonstruksi kebakaran. Pada studi ini, simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan paket piranti lunak Fire Dynamic Simulator versi 5.0 (FDS V5) yang dibuat dan dikompilasi oleh National Institute of Science and Technology (NIST) Amerika Serikat. Rekonstruksi kebakaran dengan menggunakan perangkat numerik yang dilakukan pada studi ini adalah rekonstruksi kebakaran yang terjadi di kamar mesin KM Salvia. Dengan demikian, skenario simulasi numerik kebakaran disesuaikan dengan penyebab kebakaran dari hasil investigasi. Sesuai dengan hasil investigasi, simulasi numerik memodelkan penyebab kebakaran berupa bahan bakar solar yang mengalir keluar akibat adanya kebocoran pada pipa bahan bakar tekanan tinggi yang kemudian terbakar setelah aliran gas jenuh bahan bakar bersinggungan dengan bagian manifold gas buang yang tidak terisolasi dengan baik. Studi pengaruh instalasi sistem kabut air juga dilakukan pada studi ini sebagai rekomendasi tambahan untuk desain proteksi kebakaran di kapal.

Kata kunci : kapal, rekonstruksi kebakaran, simulasi numerik, investigasi kebakaran kapal, KM Salvia

Pendahuluan

Kapal merupakan moda transportasi pilihan tepat untuk Indonesia. Dimana jalur transportasi pada negara ini tidak dapat terpenuhi hanya dengan menggunakan transportasi darat. Hal tersebut dikarenakan dua pertiga bagian wilayah negara ini merupakan perairan. Sehingga kegiatan distribusi barang, angkutan penyeberangan, sampai sarana wisata akan banyak terakomodasi oleh kapal.

Indonesia yang notabennya merupakan negara kepulauan, memiliki tingkat kebutuhan akan sebuah kapal yang sangat tinggi. Menurut Direktorat Lalu Lintas Angkutan Laut (Dit. LALA), Ditjen Hubla, pada tahun 2009 terdapat sekitar 16.539 unit kapal yang beroperasi pada perairan Indonesia [1]. Angka

tersebut merupakan total unit yang dimiliki oleh pihak lokal dan pihak keagenan asing.

Berdasarkan laporan yang dilansir oleh Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, yang selanjutnya akan disebut KNKT, selama tahun 2003-2014 terjadi sekitar 43 kecelakaan kapal atau sekitar 4 kecelakaan setiap tahunnya [2]. Angka tersebut menunjukkan besarnya potensi kecelakaan terjadi diperaian Indonesia. Jumlah tersebut merupakan kecelakaan – kecelakaan yang telah diinvestigasi dan laporannya telah dipublikasikan. Masih banyak kecelakaan-kecelakaan kecil atau tidak sempat terinvestigasi karena satu dan lain hal.

Terdapat 15 kebakaran dari 43 kecelakaan yang terjadi [2]. Kejadian tersebut terdata

berupa sebuah kebakaran pada beberapa kompartemen saja, ledakan, dan sampai membakar habis seisi kapal. Hal tersebut merupakan sebuah hal yang mengkhawatirkan bagi dunia kemaritiman Indonesia. Sebagai moda transportasi yang diandalkan, banyaknya tragedi kebakaran akan menurunkan kepercayaan publik. Kebakaran dapat memberikan kerugian secara materi bahkan sampai hilangnya nyawa awak kapal dan penumpang.

Untuk mencegah terulangnya kembali kebakaran diatas kapal, pemerintah Indonesia melalui KNKT melakukan investigasi kebakaran setelah kejadian berlangsung. Tidak hanya di Indonesia, tindakan investigasi juga sangat penting bagi dunia kemaritiman secara global. Terdapat banyak badan investigasi internasional dan aturan-aturan yang mengatur tentang tujuan, prosedur, serta teknik-teknik investigasi kebakaran.

Dengan berkembangnya teknologi yang sangat pesat, investigasi kebakaran dapat dibantu dengan bantuan perangkat lunak. Pemodelan kebakaran yang dilakukan memungkinkan untuk dijadikan sebagai dasar penguat suatu laporan investigasi. Perangkat lunak yang dapat membantu adalah Fire Dynamics Simulator (FDS) [3]. Perangkat lunak ini dapat memberikan gambaran fenomena kebakaran menyerupai hasil investigasi atau dapat disebut sebagai rekonstruksi kebakaran. Disisi lain, perangkat ini juga dapat menjamin keabsahan hasil investigasi.

Berdasarkan penjabaran diatas, dengan memperhatikan pentingnya sebuah investigasi, penelitian kali ini akan membahas dasar – dasar investigasi kebakaran pada sebuah kapal serta melakukan rekonstruksi kebakaran sesuai dengan laporan investigasi yang telah dipublikasikan oleh KNKT atau badan investigasi Internasional lainnya. Dengan membandingkan hasil pemodelan dan laporan terkait, diharapkan dapat memberikan tambahan pengetahuan dalam bidang investigasi kebakaran kapal.

Fire Dynamics Simulator

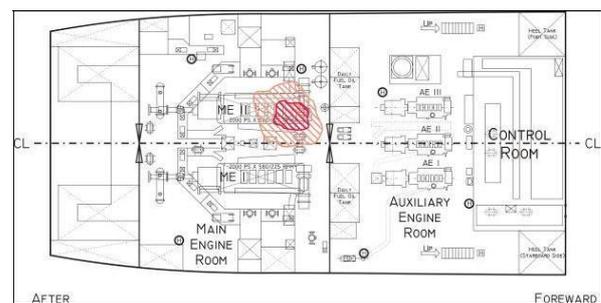
Secara singkat, FDS merupakan perangkat lunak yang beroperasi berdasarkan model komputasi dinamika fluida untuk menyelesaikan persamaan – persamaan atur yang relevan dengan aliran massa, energi, dan momentum pada daerah komputasi, yang telah didiskritisasi, khusus untuk aliran fluida yang disebabkan adanya api. Secara numerik, FDS menyelesaikan persamaan Navier – Stokes untuk aliran yang terjadi karena adanya gradien termal pada kecepatan yang rendah dengan menitik – beratkan perhatian kepada asap dan perpindahan panas dari api.

Inti dari software ini adalah mensimulasikan suatu fenomena kebakaran dengan kondisi – kondisi batas yang sudah ditetapkan sebelumnya. Penjelasan mendetail mengenai FDS dapat diperoleh dari referensi [3] dan [4].

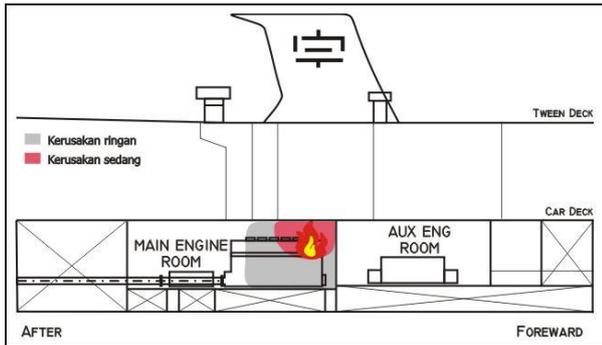
Kebakaran KM Salvia

Berikut akan dijelaskan kronologi kejadian kebakaran di KM Salvia berdasarkan penjabaran KNKT [5].

Pada tanggal 8 Februari 2011 pukul 02.30 WIB, KM. Salvia bertolak dari demaga 107 Pelabuhan I Tanjung Priok, Jakarta menuju Pelabuhan Pangkal Balam, Bangka Belitung. Pada saat meninggalkan kolam pelabuhan, kapal melaju dengan kecepatan 9-10 knots pada putaran mesin induk 450 RPM.



Gambar 1. Posisi kebakaran di ruang mesin KM. Salvia



Gambar 2. Titik Awal Kebakaran di Mesin Induk Kiri

Pukul 02.45 WIB, kapal berada di sebelah Timur sekitar Pulau Damar, Kepulauan Seribu. Nakhoda memerintahkan KKM untuk mengubah kecepatan ke full away. Atas perintah Nakhoda, KKM segera melakukan perubahan RPM mesin induk ke full away. Pada saat putaran mesin mencapai 490 RPM, terdengar suara alarm analog di ruang kontrol kamar mesin. KKM yang berada di anjungan memerintahkan Masinis Jaga untuk memeriksa penyebab alarm tersebut berbunyi. Masinis Jaga yang berada di ruang kontrol kamar mesin memerintahkan Juru Minyak Jaga untuk memeriksa kondisi kamar mesin induk. Juru Minyak melaporkan bahwa tidak menemukan adanya penyebab alarm tersebut berbunyi. Tidak berapa lama setelah Juru Minyak Jaga kembali ke ruang kontrol kamar mesin, fresh watercooling exhaust valve alarm berbunyi. Pada saat Masinis Jaga dan Juru Minyak hendak melakukan pengecekan, api terlihat di mesin induk kiri, dekat manifold gas buang.

Masinis Jaga memerintahkan Juru Minyak Jaga untuk segera mengambil APAR dan menyemburkan ke titik api tersebut. Selanjutnya Masinis Jaga menutup keran bahan bakar dari tangki harian ke mesin induk dan menekan tombol berhenti darurat mesin utama. Masinis Jaga kemudian kembali ke ruang kontrol dan melaporkan kondisi tersebut ke anjungan dengan menggunakan radio komunikasi.

Nakhoda langsung merespon laporan dengan membunyikan alarm utama kebakaran sebanyak 7 kali panjang berturut-turut selama 2 menit dan mengumumkan melalui *public addressor* agar sebagian awak kapal menuju

ke kamar mesin membantu proses pemadaman termasuk KKM dan Mualim I. Sebagian awak kapal lainnya diperintahkan untuk lego jangkar (*anchorage*) dan selanjutnya berupaya mendinginkan *funnel*/cerobong dengan menyemburkan air, sedangkan awak kapal lain/sisanya mengarahkan penumpang untuk segera memakai jaket penolong dan memerintahkan untuk berkumpul di stasiun Muster yang berada di buritan geladak ketiga kapal.

Nakhoda memerintahkan Markonis untuk menginformasikan kepada Syahbandar Pelabuhan Tanjung Priok dan kapal-kapal terdekat, perihal terjadinya kebakaran tersebut melalui radio channel 16 dan 12. Nakhoda juga memberitahukan kejadian tersebut kepada DPA.

Kebakaran yang terjadi menimbulkan asap tebal dan menghambat proses pemadaman oleh awak kapal. Nakhoda selanjutnya memerintahkan KKM dan awak kapal lainnya yang melakukan proses pemadaman untuk segera meninggalkan kamar mesin dan memerintahkan untuk mengisolasi ruang mesin induk dengan cara menutup pintu ke kamar mesin dan menutup semua ventilasi menuju ke kamar mesin. KKM selanjutnya memadamkan aliran listrik yang menuju ke ruang mesin induk. KKM kemudian mengaktifkan sistem pemadam api tetap (Halon system) ke ruang mesin induk.



Gambar 3. Posisi KM. Salvia saat Kebakaran Terjadi

Setelah diperkirakan api padam dan aman dari gas Halon, pintu ke kamar mesin dibuka untuk dilakukan pengecekan apakah api telah benar-benar padam. Selanjutnya pada pukul 05.00

WIB, Nakhoda mendapat informasi bahwa api benar-benar telah padam.

Dampak kebakaran

Kebakaran yang terjadi mengakibatkan kerusakan-kerusakan di kamar mesin induk pada daerah sekitar manifold gas buang mesin induk kiri dan daerah atas atau langit-langit tepat di atas mesin induk kiri termasuk kabel-kabel listrik. Kerusakan ini tidak sempat meluas atau menjalar ketempat lainnya, sedangkan untuk mesin induk kanan tidak mengalami kerusakan apapun, hanya terkontaminasi dari asap sisa pembakaran mesin induk kiri.

Tidak terdapat korban jiwa maupun luka berat dan ringan dari kecelakaan kebakaran ini. Seluruh barang bawaan penumpang dan kendaraan dalam keadaan baik tanpa kerusakan apapun.

Dari hasil identifikasi terhadap kondisi akibat kebakaran dapat diketahui bahwa pola kebakaran berawal dari salah satu mesin induk kiri tepatnya di manifold gas buang di dekat silinder No. 1 dan 2. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kondisi kerusakan paling parah dibandingkan dengan tempat lain yang terjalari api. Sedangkan berdasarkan wawancara awak kapal bahwa api pertama kali terlihat berada di mesin induk sebelah kiri tepatnya di manifold gas buang (Gambar 4).

Dari hasil identifikasi terhadap kondisi mesin induk kiri tepatnya pada pipa pompa bahan bakar tekanan tinggi, terlihat bahwa adanya indikasi kebocoran dan adanya rembesan pada pipa pompa bahan bakar tekanan tinggi. Hal ini di kategorikan sebagai bahan mudah terbakar. Dari hasil identifikasi terdapat adanya kumpulan tumpahan minyak yang tercampur di got-got kamar mesin induk.

Metodologi Penelitian

Berdasarkan laporan KNKT, kebakaran terjadi pada kamar mesin. Awal mula sumber kebakaran teridentifikasi pada manifold gas buang Main Engine sebelah kiri, yang selanjutnya akan disebut dengan ME 1. Bahan bakar yang diidentifikasi terbakar adalah tetradecane vapor.

Kerusakan yang terjadi akibat kebakaran ini terlihat pada bagian ME 1 dan atap sekitar ME 1. Simulasi ini akan merepresentasikan dampak kebakaran pada sekitar lokasi kejadian dengan meninjau perubahan temperature pada sekitar Main Engine dan atap kamar mesin.



Gambar 4. Keadaan manifold gas buang mesin induk kiri pasca kebakaran



Gambar 5. Area di atas mesin induk kiri yang kerusakan (kiri). Adanya kebocoran pada pipa bahan bakar tekanan tinggi pada pompa bahan bakar silinder nomer 1 (kanan)



Gambar 6. Adanya minyak yang terkumpul di got-got kamar mesin induk

Pada laporan juga disebutkan bahwa terjadinya kebocoran pada pipa bahan bakar bertekanan tinggi. Asumsi tersebut akan dijadikan variable pembanding dari 4 skenario yang akan ditentukan ditambah dengan variable penambahan sistem kabut air. Penambahan sistem kabut air diharap dapat menjadi studi referensi untuk sistem proteksi

penyebaran kebakaran pada kamar mesin selanjutnya.

Diameter karakteristik nyala api (D^*) dihitung berdasarkan Pers. 1. Diameter karakteristik nyala api diperlukan untuk menetapkan resolusi simulasi dengan menggunakan pendekatan praktis seperti ditunjukkan pada Pers. 2 dengan δx , δy , dan δz adalah ukuran sel simulasi pada arah x, y, dan z. Besar laju pelepasan kalor (\dot{Q}) ditentukan berdasarkan Pers. 3 dengan menggunakan sifat termofisik Butane ($C_{14}H_{30}$) seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} \dots\dots\dots (1)$$

$$4 \leq \frac{D^*}{\delta x} = \frac{D^*}{\delta y} = \frac{D^*}{\delta z} \leq 16 \dots\dots\dots (2)$$

$$\dot{Q} = \eta \dot{m}'' A \Delta H_C \dots\dots\dots (3)$$

Tabel 1. Sifat termofisik Butane

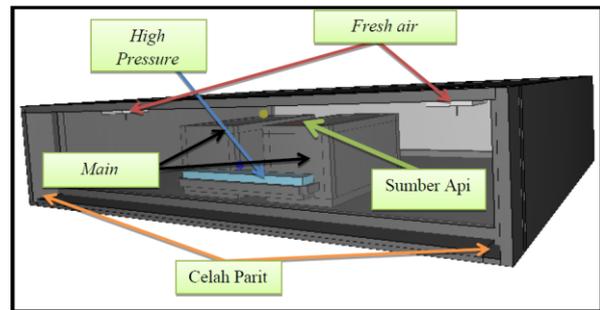
Sifat Termofisik	Besar
Density (kg/m^3)	918
Laju pembakaran massa ($kg/(m^2s)$)	0.044
Panas spesifik ($kJ/(kg.K)$)	1.8
Entalpi pembakaran (MJ/kg)	44.4
A (m^2)	0.785
Efisiensi konsumsi	70
O ₂ (%)	

Dengan demikian, diperoleh laju pelepasan kalor, diameter karakteristik nyala api, dan ukuran sel simulasi, masing – masing, sebesar 1.06 MW, 0.18 m, dan 0.0225 m. Terkait dengan ukuran sel simulasi, digunakan

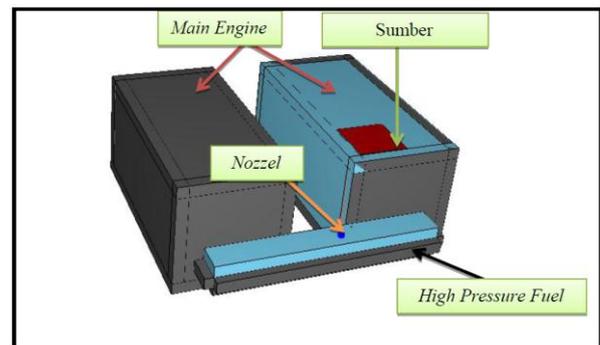
$$\frac{D^*}{\delta x} = \frac{D^*}{\delta y} = \frac{D^*}{\delta z} = 8.$$

Geometri simulasi dapat diperhatikan pada gambar 7 yang menunjukkan sumber kebakaran, mesin utama, sumber kebakaran, dan blower untuk memberikan udara luar (*fresh air*). Gambar 8 menunjukkan dengan lebih jelas pemodelan sumber kebakaran pada mesin utama.

Kabut gas jenuh bahan bakar dimodelkan dengan menggunakan *spray fuel mist* dengan arah orientasi nozzle pada arah +z (ke atas). Material yang disemburkan berupa Diesel Oil dengan densitas, specific heat, dan heat of combustion seperti pada Tabel 1. Nozzle diletakkan pada kordinat 9.4 m, 7.2 m, 1.12 m pada sumbu x, y, dan z secara berurutan. Peletakan ini berdasarkan letak kordinat dari pipa bahan bakar bertekanan tinggi yang disinyalir terjadi kebocoran.



Gambar 7. Kompartemen kamar mesin



Gambar 8. Geometri mesin utama dan letak sumber kebakaran

Skenario kebakaran

Skenario simulasi kali ini dibagi sebanyak 4 skenario dengan design ruang mesin yang sama dengan *blower* yang tetap berfungsi. Perbedaan untuk setiap skenario adalah kondisi kebocoran pipa bahan bakar bertekanan tinggi dan penambahan water-mist system sebagai bentuk usaha pencegahan penyebaran nyala api.

Skenario pertama dilakukan tanpa adanya kebocoran pada pipa bahan bakar bertekanan tinggi. Skenario kedua adalah simulasi skenario pertama dengan menambahkan water-mist system. Skenario ketiga adalah simulasi dengan terjadinya kebocoran pada

pipa bahan bakar bertekanan tinggi dengan mendesign gas bahan bakar jenuh dengan penyemprotan diesel oil menggunakan nozzle. Skenario keempat adalah penambahan water-mist system pada scenario ketiga.

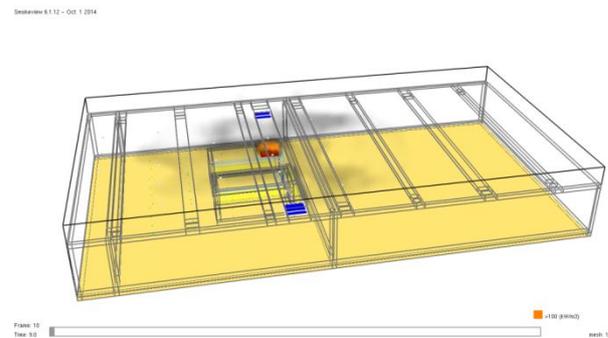
Kebocoran pipa yang diatur memiliki laju aliran sebesar 1 L/m. Berdasarkan referensi [5] diketahui bahwa pipa tersebut telah ditutup secara manual setelah dilakukan pengecekan oleh awak kapal. Sehingga pada simulasi, nozzle bahan bakar diatur memiliki nilai deaktivasi selama 30 second dengan flowrate sebesar 10 m/s. Hal tersebut dilakukan dengan pertimbangan kabut bahan bakar tersebut cukup untuk memicu kebakaran.

Penggunaan Watermist pada simulasi ini diatur sesuai dengan NFPA 750 tentang pengaturan Watermist System. Diameter kabut air yang dipergunakan berkisar antara $70 \mu - 120 \mu$ dan tekanan sebesar 12 bar. Peletakan Watermist pada simulasi ini dirancang dengan kebutuhan ruang mesin. Pada penelitian ini ditetapkan 6 buah nozzle yang dipergunakan dengan masing-masing berjarak 3 m pada sumbu x dan 3 meter pada sumbu y. Hal ini dilakukan karena tidak ada aturan khusus mengenai penggunaan watermist pada kamar mesin. Aktifasi watermist juga diatur berdasarkan aktivasi dari Head Detector. Jika heat detector aktif maka nozzle akan menyemprotkan kabut air searah sumbu $-z$ (ke bawah). Sehingga pengamatan juga akan dilakukan terhadap efisiensi kerja watermist dengan ketentuan tersebut.

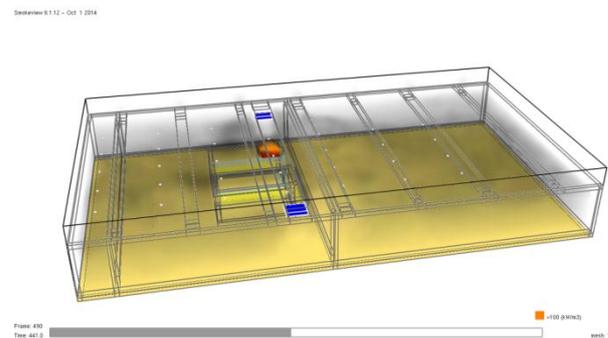
Blower Fresh Air dimodelkan sesuai dengan referensi [5] sebagai pemasok oksigen ke dalam ruang mesin dan menjadi sistem pendingin tambahan bagi Main Engine. Pada referensi tidak disebutkan secara detail mengenai spesifikasi dari blower yang digunakan. Maka dari hal tersebut pada simulasi ini ketentuan blower sesuai dengan spesifikasi yang digunakan pada umumnya bagi kapal fery. Ditentukan kecepatan kerja dari blower tersebut adalah 15 m/s dengan arah menuju sumbu $-z$ (ke bawah).

Hasil dan Analisis

Hasil simulasi skenario pertama menunjukkan sumber api yang terbakar pada bagian atas sebelah kiri dari ME 1 (Gambar 9). Api tersebut merepresentasikan heat yang dikeluarkan oleh manifold gas buang mesin. Pada skenario ini tidak dimodelkan terjadinya kebocoran bahan bakar sehingga tidak terdapat bahan bakar yang menyebabkan api membesar. Berdasarkan gambar 10 terlihat tidak terjadi perubahan berarti pada besar nyala api dan asap yang dihasilkan oleh kebakaran.

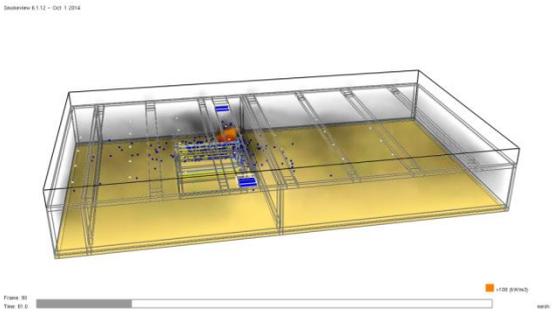


Gambar 9 Hasil Rendering Skenario 1 pada Frame 10 detik ke-9



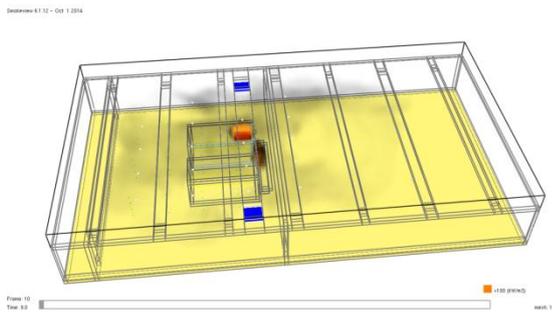
Gambar 10 Hasil Rendering Skenario 1 pada Frme 430 detik ke-441

Skenario kedua merupakan penambahan variable watermist pada scenario pertama. Kondisi yang terjadi pada simulasi kali ini tidak berbeda jauh dengan scenario pertama (Gambar 11). Perbedaan yang terjadi hanya pada aktifnya water mist pada detik ke-81 (titik biru pada Gambar 11). Hal tersebut memberikan informasi bahwa pada waktu tersebut temperatur telah mencapai 150°C .



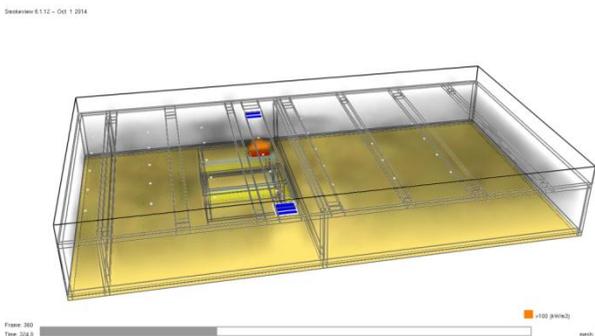
Gambar 11 Hasil Rendering Skenario 2 pada Frme 90 detik ke-81

Hasil simulasi pada skenario ketiga menunjukkan adanya api pada pipa yang mengalami kebocoran. Api tersebut menggambarkan adanya semburan bahan bakar. Karena keterbatasan yang dimiliki oleh FDS, setiap material yang berfase liquid akan seketika terbakar bila mengalami kontak dengan lingkungan. Perhatikan gambar 12



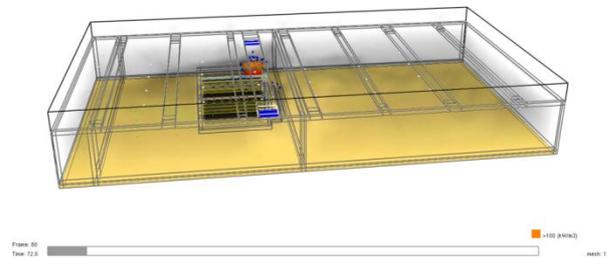
Gambar 12. Hasil Rendering Skenario 3 pada Frame 2 detik ke-9

Pada 30 detik pertama, api terlihat membesar akibat adanya kebocoran pada pipa bahan bakar. Produksi asap meningkat seiring waktu yang bertambah. Perhatikan gambar 13.



Gambar 13. Hasil Rendering Skenario 3 pada Frme 360 detik ke-324

Hasil simulasi pada skenario keempat hampir sama dengan skenario ketiga sampai detik ke 72 frame 80 (Gambar 14). Pada frame ini, simulasi menunjukkan aktivasi watermist. Jika dibandingkan dengan skenario ke 2, aktivasi watermist pada skenario ini bekerja lebih cepat. Hal ini dipengaruhi bertambahnya heat akibat kebocoran pipa sehingga mempercepat aktivasi detector yang merupakan aktivasi water mist. Dengan kata lain, peningkatan temperature melewati 150°C lebih cepat dibanding skenario kedua.



Gambar 14. Hasil Rendering pada Frme 80 detik ke-72

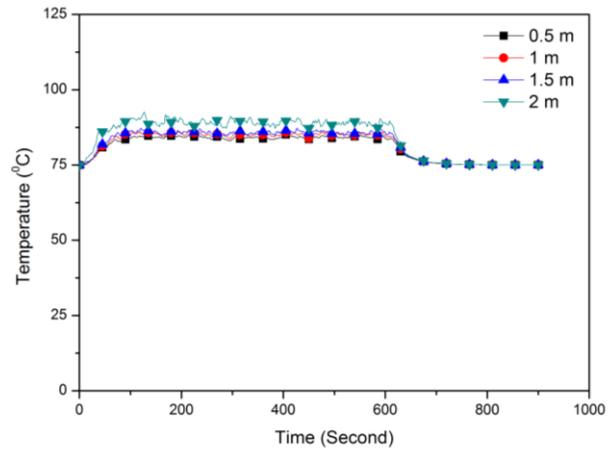
Perubahan temperature juga menjadi gambaran dampak yang diterima oleh *main engine* pada ketinggian tertentu akibat kebakaran. Meningkatnya temperature mencapai ambang batas dari toleransi kekuatan struktur terhadap perlakuan panas menjadi acuan penilaian kerusakan.

Terdapat tiga titik pengukuran untuk distribusi thermal. Pertama diantara kedua ME, bagian kiri ME kiri, dan bagian kanan ME kanan. Tiap titik pengukuran akan dilihat perubahan temperature yang dimulai dari 0.5 m sampai 2 m dari lantai. Pengukuran thermal ini dimaksud untuk mengetahui perubahan temperature yang terjadi pada sekitar ME.

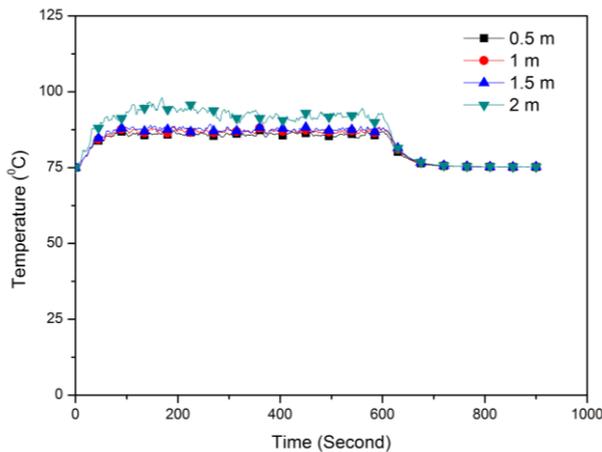
Untuk skenario pertama, dapat diperhatikan bahwa distribusi temperature pada ketinggian 2 m atau setinggi ME pada bagian sebelah kiri ME1 memiliki kenaikan temperature cukup signifikan (Gambar 15). Pada grafik menunjukkan kenaikan temperature berkisar 50°C . Temperature pada daerah tersebut mendekati 120°C . Dimana temperature ambien sekitar ME yang sedang

beroperasi dengan kecepatan penuh berada pada 35 °C.

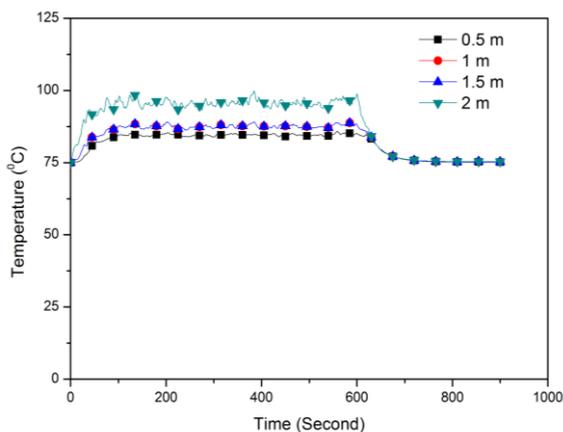
Selain panas akibat efek radiasi dan konveksi dari sumber kebakaran, kenaikan temperature pada titik tersebut dapat terjadi akibat terdapatnya blower. Aliran udara dari blower merupakan udara yang memiliki temperature lebih rendah. Densitas udara segar lebih tinggi dari udara hasil pembakaran. Udara tersebut juga dipengaruhi oleh kecepatan hembus dari blower, sehingga mendorong udara panas mendekati sumber kebakaran kembali dan mendapatkan efek panas berulang.



Gambar 17. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kanan ME 2 (skenario pertama)



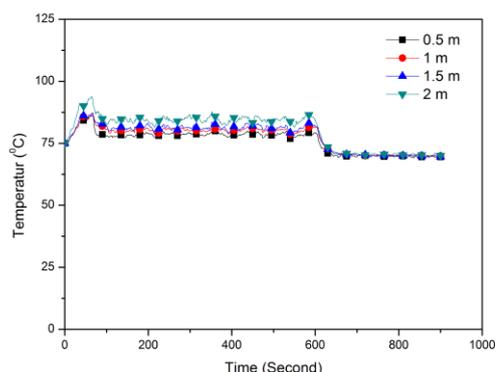
Gambar 15. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kiri ME1 (skenario pertama)



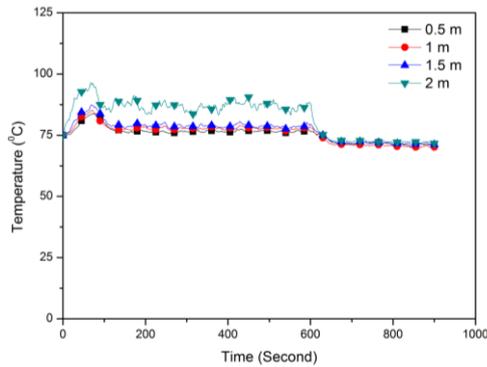
Gambar 16. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Diantara ME 1 dan ME 2 (skenario pertama)

Terkait dengan skenario kedua, terlihat kenaikan temperature pada bagian kiri ME1 (18). Dengan alasan yang sama seperti pada scenario 1, kenaikan suhu pada scenario ini terjadi karena efek sumber kebakaran dan ditambah efek dari hembusan *blower*. Namun terdapat perbedaan pada gambar 15 dan gambar 18. Pada gambar 18 terjadi penurunan suhu yang cukup drastis pada sekitar detik ke-250. Hal ini menunjukkan pengaruh dari *watermist*.

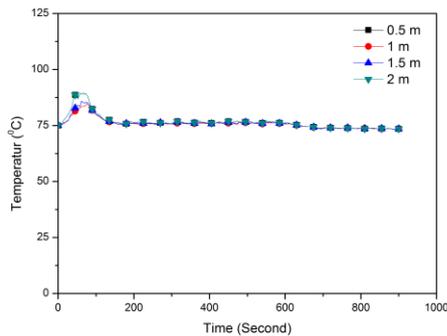
Melalui simulasi ini dapat terlihat bahwa *watermist* dapat menurunkan temperatur sekitar lokasi kebakaran. Penurunan temperatur di sekitar sumber kebakaran menggambarkan berkurangnya risiko kerusakan akibat perlakuan panas terhadap mesin kapal.



Gambar 18. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kiri ME1 (skenario kedua)



Gambar 19. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Diantara ME 1 dan ME 2 (skenario kedua)



Gambar 20. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kanan ME 2 (skenario kedua)

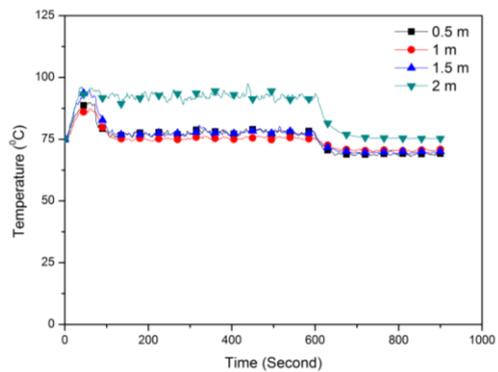
Terkait dengan skenario ketiga, dapat diperhatikan bahwa pada kondisi awal simulasi terjadi peningkatan temperature yang cukup signifikan (Gambar 21 – 23). Temperature awal simulasi ini mendekati nilai 100 °C. Hal tersebut dapat terjadi karena pada simulasi ini, telah diatur kebocoran pada pipa bahan bakar bertekanan tinggi.

Kebocoran tersebut menyemburkan bahan bakar diesel berbentuk vapor dan ikut terbakar pada sekitar sumber panas pada mesin. Bahan bakar yang terbakar memberikan peran dalam peningkatan heat. Pada sekitar detik ke-50 terjadi penurunan temperature. Hal ini dikarenakan pada pengaturan simulasi ditentukan semburan dari kebocoran pipa bahan bakar bertekanan tinggi hanya aktif selama 30 detik. Parameter tersebut ditentukan berdasarkan laporan investigasi terkait.

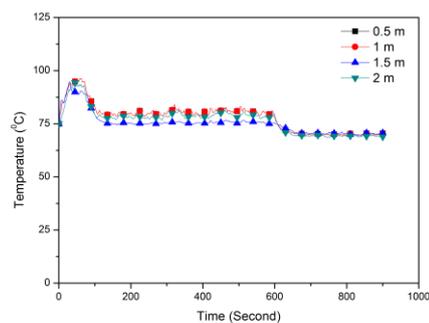
Namun, pada ketinggian 2 m pada bagian kiri ME 1 temperatur konstan pada kisaran temperature 95 °C – 80 °C. Kondisi tersebut sama dengan kondisi pada skenario-skenario sebelumnya. Hal ini jauh berbeda dengan

kondisi pada skenario 1 dan 2. Pada skenario sebelumnya, dapat diperhatikan bahwa peningkatan temperature terbesar terjadi pada bagian tengah antara ME 1 dan ME 2. Sementara pada skenario ini terlihat terjadi perubahan suhu ekstrem terjadi pada bagian kiri ME 1 diketinggian 2 m. Udara yang telah menerima perlakuan panas akibat adanya pembakaran dari bocoran pipa bahan bakar bertekanan, bergerak kembali kearah sumber api akibat adanya pengaruh tiupan dari blower. Hal tersebut terjadi berulang sehingga udara mengalami pemanasan berulang. Maka dari itu temperature menjadi meningkat dan konstan.

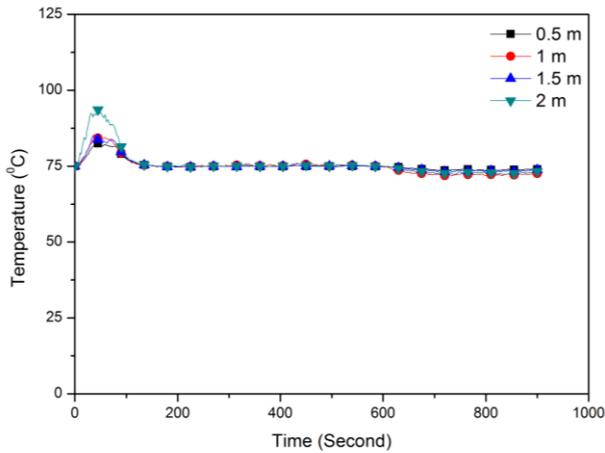
Berdasarkan gambar VI.18-20, didapat kenaikan temperature pada 100 detik awal simulasi. Pada sisi kiri dan diantara ME 1 dan ME 2 temperatur meningkat menuju 100⁰ C. Dapat diperhatikan terdapat persamaan antara skenario ke-4 dan skenario ke-3 pada 100 detik pertama. Temperature pada setiap sisi ME 1 dan ME 2 mengalami perubahan sampai menuju 100 °C. Fenomena tersebut terjadi akibat pengaruh dari kebocoran yang telah diatur pada awal simulasi.



Gambar 21. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kiri ME1 (skenario ketiga)



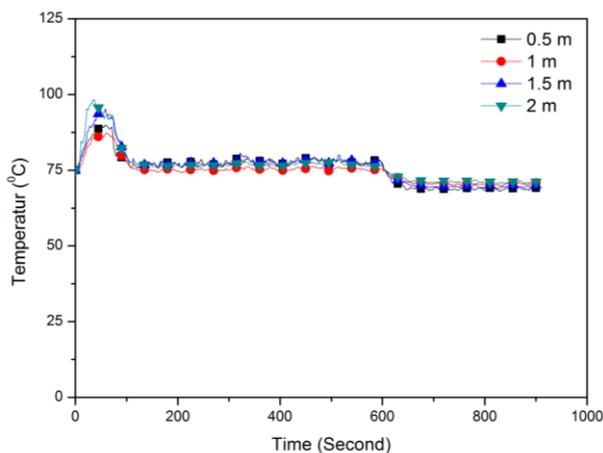
Gambar 22. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Diantara ME 1 dan ME 2 (skenario ketiga)



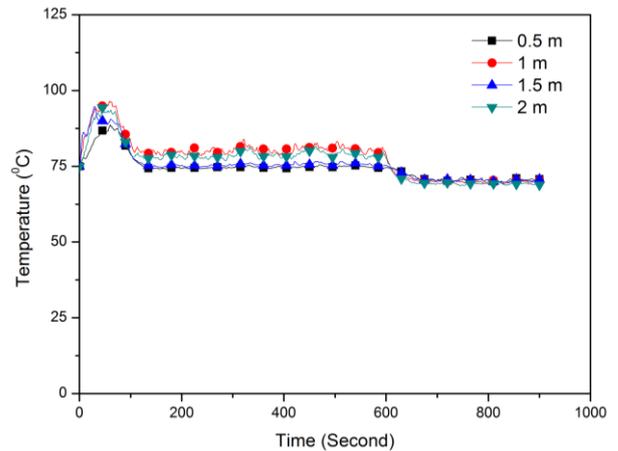
Gambar 23. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kanan ME 2 (skenario ketiga)

Terjadi fluktuasi pada gambar 24. Hal ini sangat berbeda dengan kondisi pada gambar 21. Dimana lokasi alat ukur dan kondisi kebakaran yang diatur sama dengan pembeda water mist system. Pada gambar 26 temperatur dapat turun dan konstan pada temperature rata-rata pada kebakaran simulasi ini. Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa watermist yang telah dimodelkan memberikan efek penurunan suhu yang cukup berpengaruh.

Temperature pada sisi kanan ME 2, tergambar pada gambar 20, meningkat hanya pada 50 detik pertama dan langsung turun pada temperature rata-rata. Hal ini dapat diartikan bahwa kebakaran yang terjadi tidak banyak mempengaruhi lokasi sisi kanan ME 2.



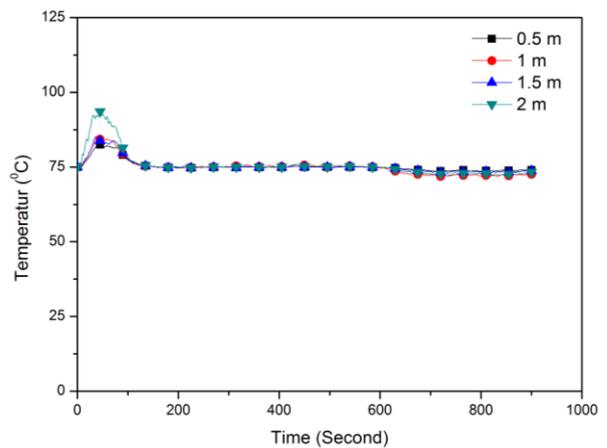
Gambar 24. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kiri ME1 (skenario keempat)



Gambar 25. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Diantara ME 1 dan ME 2 (skenario keempat)

Dapat diperhatikan pada gambar 27 terdapat grafik perbedaan temperature pada atap kamar mesin. Temperature ini adalah nilai rata-rata dari pengukuran *heat detector* yang telah diatur sebelumnya.

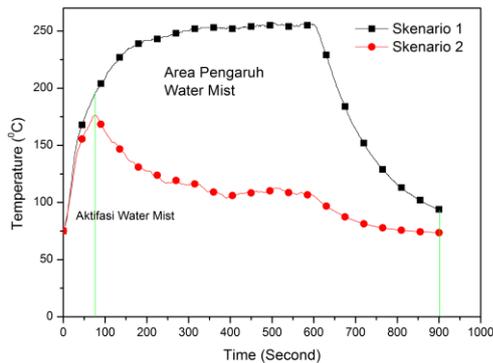
Pada scenario pertama terlihat bahwa suhu yang diterima oleh atap kamar mesin mencapai temperature 250 °C. Perkembangan api pada scenario ini dapat terlihat sangat cepat. Hal tersebut dapat terlihat pada grafik, dimana ditunjukkan pada detik ke - 90 temperature meningkat ekstrim menuju 175 °C.



Gambar 26. Grafik Distribusi Thermal Rata-rata Bagian Kanan ME 2 (skenario keempat)

Pada scenario kedua, perhatikan gambar 27, 50 detik pertama menunjukkan kondisi yang hampir sama dengan scenario pertama. Namun terjadi perbedaan pada detik ke-90. Garis merah yang merupakan representasi scenario kedua terjadi penurunan pada detik

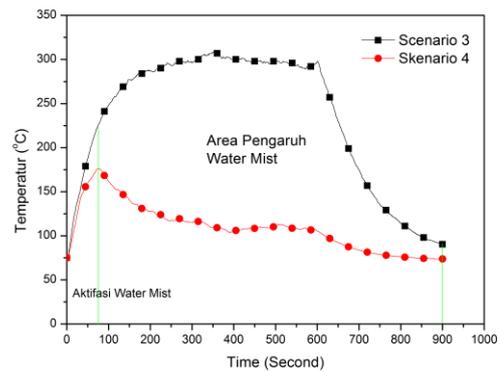
ke-90. Penurunan temperature terjadi akibat pengaruh aktifnya watermist.



Gambar 27. Temperatur Atap Kamar Mesin dan Pengaruh Water Mist Skenario pertama dan Skenario kedua

Scenario pertama dan kedua dimodelkan identik satu dengan lainnya. Perbedaan yang dimodelkan hanya pada penambahan watermist pada scenario kedua. Garis hijau vertical menunjukkan bahwa waktu aktifasi watermist adalah 75 detik. Area antara grafik scenario pertama dan kedua merupakan perbedaan temperature yang dideteksi pada simulasi.

Terjadi penurunan temperature yang signifikan antara grafik scenario pertama dan scenario kedua. Pada scenario kedua suhu yang dicapai maksimal adalah 175 °C. Area yang berada antara grafik temperature scenario pertama dan kedua menunjukkan besarnya pengaruh penurunan temperature akibat penggunaan watermist. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa watermist yang digunakan berhasil menurunkan temperature pada saat kebakaran terjadi. Patut diingat sebagai catatan, pengaturan watermist pada pemodelan kali ini tidak terkait dengan kajian laporan milik KNKT. Pemodelan watermist kali ini dilakukan sebagai fungsi dari investigasi yaitu memberikan saran untuk pembangunan atau perencanaan yang lebih baik kedepannya. Selain itu, watermist digunakan bukan sebagai alat pemadam kebakaran. Watermist digunakan sebagai pencegah terjadinya penyebaran api secara meluas.



Gambar 28. Temperatur Atap Kamar Mesin Skenario ketiga dan keempat

Pada gambar 28 didapat grafik yang memiliki kesamaan fungsi dengan grafik pada gambar 27. Grafik berwarna hitam menggambarkan kondisi pada scenario ketiga dan grafik berwarna merah menggambarkan kondisi pada scenario keempat.

Terlihat pada scenario ketiga, temperature yang diterima oleh atap kamar mesin lebih tinggi dari scenario lainnya. Pada scenario ini temperature yang tercatat mencapai lebih dari 300 °C. Hal ini dapat terjadi karena dimodelkannya kebocoran pada pipa bahan bakar bertekanan tinggi. Penambahan kebocoran tersebut memberikan dampak kenaikan temperature yang ekstrim.

Perbedaan kenaikan temperature pada scenario ketiga dan keempat menunjukkan efek dari penggunaan watermist. Pada poin a, watermist aktif pada temperature 175 °C. Hal ini juga terjadi pada scenario 4. Waktu aktifasi yang diperlukan adalah 75 detik (garis hijau). Area yang terbentuk diantara grafik scenario ketiga dan keempat merupakan besarnya pengaruh yang diberikan terhadap penambahan water mist system pada kompartemen.

Berdasarkan 2 poin diatas, dapat disimpulkan bahwa water mist system dapat menurunkan risiko kebakaran pada kamar mesin. Dengan aktifasi temperature 175 °C, dan waktu yang dibutuhkan untuk aktifasi adalah 75 detik, water mist sangat cocok dijadikan alat pencegah penyebaran kebakaran. Temperature dapat diturunkan antara 100 °C sampai 150 °C.

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah didiskusikan, berikut beberapa kesimpulan yang dapat ditarik:

1. Data-data yang didapat dari FDS seperti perubahan temperatur, pergerakan asap, dan pola kebakaran dapat dijadikan penguat laporan investigasi atau bahan analisis sebuah kebakaran.
2. Rekonstruksi kebakaran KM. Salvia dapat direkonstruksikan dan didapat hasil bahwa kebocoran yang terjadi pada pipa bahan bakar bertekanan tinggi terjadi sebelum kebakaran.
3. Kerusakan pada atap kamar mesin bagian kiri dekat dengan main engine 1 KM. Salvia dapat terjadi karena kenaikan temperatur yang ekstrme mencapai 3500C.
4. Rekonstruksi kebakaran MV Athena dapat direkonstruksi dan didapat hasil bahwa sumber kebakaran akibat korsleting listrik pada freezing plan bagian port side benar adanya.
5. Efek yang diberikan oleh penambahan water mist system pada setiap simulasi adalah menurunkan temperatur sampai 1000C.

Berdasarkan pembahasan yang telah didiskusikan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan pihak-pihak berkepentingan dan dapat menjadi bahan studi

lanjutan. Berikut adalah saran-saran yang dapat dirumuskan:

1. Rekonstruksi kebakaran berbasis FDS dapat dilakukan sebagai pelengkap dan bahan analisis laporan KNKT tentang investigasi kebakaran kapal.
2. Penggunaan water mist system pada fire protection plan dapat dijadikan pilihan dalam mendesign sebuah kapal.

Referensi

- [1] [http:// kemhubri.dephub.go.id / knkt / ntsc_maritime / maritime.htm](http://kemhubri.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/maritime.htm), Juli 2015.
- [2] Laporan Final Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) tentang Kebakaran KM. Salvia. 2011.
- [3] McGrattan Kevin, Randall McDermott, Simo Hostika, Jason Floyd. Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide [M]. NIST Special Publication 1019 – 5, Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology, October 2010.
- [4] McGrattan Kevin, Randall McDermott, Simo Hostika, Jason Floyd. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide [M]. NIST Special Publication 1019 – 5, Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology, October 2010.
- [5] Laporan Final Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) tentang Kebakaran KM. Salvia. 2011.