



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH DIAMETER BUTIRAN AIR DAN TATALETAK
SPRINKLER PADA KEBAKARAN DI ATAS GELADAK KENDARAAN
KAPAL PENYEBRANGAN**

SKRIPSI

ALWIN RIZKY

07 06 27 5233

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

Analisa Pengaruh Diameter Butiran Air dan Tataletak Sprinkler Pada
Pemadaman Kebakaran Di Atas Geladak Kendaraan Kapal Penyebrangan

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Alwin Rizky

07 06 27 5233

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Alwin Rizky
NPM : 07 06 27 5233
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Diameter Butiran Air dan Tataletak Sprinkler Pada Pemadaman Kebakaran Di Atas Geladak Kendaraan Kapal Penyebrangan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sunaryo, Ph.D



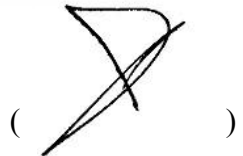
()

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo



()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng



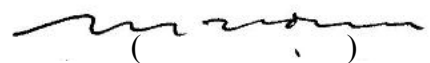
()

Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T



()

Penguji : Dr. Ir. Mukti Wibowo



()

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Alwin Rizky

NPM : 07 06 27 5233

Tanda Tangan :

:

Tanggal : 11 August 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Ir. Sunaryo, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Prof. Yulianto S. Nugroho dan Kapten Antoni yang telah banyak memberikan ide yang sangat bermanfaat dalam penulisan skripsi ini;
3. Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. M. A. Talahatu, MT, Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng M.T, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya;
4. orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
5. sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2011

Alwin Rizky

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang beretanda tangan di bawah ini:

Nama : Alwin Rizky
NPM : 07 06 27 5233
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Rights) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Analisa Pengaruh Diameter Butiran Air dan Tataletak Sprinkler Pada Pemadaman Kebakaran Di Atas Geladak Kendaraan Kapal Penyebrangan”

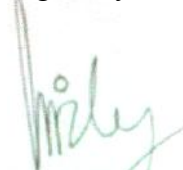
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan,


Alwin Rizky

ABSTRAK

Nama : Alwin rizky
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Analisa Pengaruh Diameter Butiran Air dan Tataletak Sprinkler
Pada Pemadaman Kebakaran Di Atas Geladak Kendaraan Kapal
Penyebrangan

Penyerapan panas pada saat pemadaman api merupakan salah satu kriteria penting untuk mengendalikan api. Dengan menggunakan berbagai variasi diameter butiran air dan tataletak sprinkler diharapkan laju penyerapan panas tersebut dapat meningkat dan hasil akhirnya ialah pemadaman api yang lebih efektif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbedaan kecepatan pemadaman api pada keadaan yang sebenarnya dan dengan mengurangi diameter butiran air, serta merubah tataletak sprinkler dengan berbagai variasi. Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan melakukan pengujian pembakaran bahan bakar padat yang mempunyai *Heat Release Rate*(HRR) sama seperti bahan bakar solar bervolume 500 liter. Pengujian menggunakan simulasi program *Fire Dynamic Simulator* untuk mendapatkan pola kecenderungan perubahan tempertur serta lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memadamakan api. Hasil dari pengujian pengurangan diameter butiran dan tataletak sprinkler menunjukkan temperatur cenderung semakin menurun. Akan tetapi jika diameter butiran semakin dikurangi temperatur menjadi tidak terkendali. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan diameter butiran dan perubahan tataletak sprinkler mempunyai nilai yang optimal pada diameter 264 μm dan penambahan satu baris sprinkler di badien tengah ruangan(memanjang).

Kata kunci : Penyerapan panas, butiran air, tataletak sprinkler

ABSTRACT

Name : Alwin Rizky
Study Program : Naval Architecture
Title : Droplets Diameter and Sprinkler Layout Effect Analysis on Fire Extinguishing at Ferry Car Deck

The absorption of heat during fire fighting is one of the important criteria to control the fire. By using a variety of water droplets diameters and layout of sprinkler that is expected heat absorption rate can be increased and the end result is a more effective fire fighting. The purpose of this study to determine the difference in speed of fire suppression on the actual situation and by reducing the droplet diameter of water, and pour the layout of sprinklers with different variations. The research method used is to perform testing of solid fuel combustion which has the Heat Release Rate (HRR) is the same as diesel fuel volume 500 liters. Tests using the simulation program “Fire Dynamic Simulator” to obtain the pattern of change tendencies temperature and length of time needed to stamp out the fire. Results of testing reduction of droplet diameter and sprinkler layout shows the temperature tends to decrease. However, if the diameter of the granules increasingly reduced temperatures become unmanageable. This shows that the reduction in droplet diameter and changes in sprinkler layout has the optimal value at a diameter of 264 μm and the addition of a sprinkler line in the middle of the room personality (lengthwise).

Keywords: Absorption of heat, droplets diameters, sprinkler layout

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Ruang Lingkup.....	6
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Tinjauan Teori Kebakaran.....	9
2.2 Cara Memadamkan Api	14
2.3 Sprinkler.....	17
2.4 Evaporasi Butiran Air	19
2.5 Performa Pemadaman Dengan Air.....	20

BAB 3 RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....	32
3.1 Pembuatan Kapal Model.....	32
3.1.1 Pembuatan Model Ruangan	32
3.1.2 Spesifikasi Nossel	34
3.2 Tahap Percobaan Pengambilan Data.....	34
3.2.1 Prosedur Pengambilan Data	35
 BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA.....	 38
4.1 Pengolahan Data.....	38
4.1.1 Karakteristik Terbakarnya Bahan Bakar Solar	38
4.1.2 Laju Pembakaran Bahan Bakar.....	39
4.1.3 Temperatur Nyala Api Solar.....	34
4.2 Analisa Data.....	43
4.2.1 Analisa Pemadaman Bahan Bakar Solar dengan Variabel Jumlah Noseel	43
4.2.2. Analisa Penurunan Temperatur Terhadap Perubahan Waktu	48
 BAB 5 PENUTUP	 50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
 DAFTAR PUSTAKA	 51

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Properti Panas Dari Berbagai Bahan Bakar.....	39
--	----



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Fire Triangle</i>	10
Gambar 2. 2 <i>Tetrahedron of Fire</i>	11
Gambar 2. 3 Tahap Perkembangan Api	14
Gambar 2. 4 Penyerapan energi oleh air	14
Gambar 3. 1 Tampilan sederhana geladak kendaraan pada kapal Ferry	33
Gambar 3. 2 Rancangan Area Yang akan diteliti sebesar 25 x 15 x 6 m.....	33
Gambar 3. 3 Spesifikasi Sprinkler	34
Gambar 3. 4 Prosedur Eksekusi Program	36
Gambar 4. 1 Pola Perubahan Temperatur Pada Berbagai Ukuran Butiran Air.....	19
Gambar 4. 2 perubahan pengukuran temperatur pada arah memanjang dan melintang.....	42
Gambar 4. 3 berbagai keadaan pemadaman yang terjadi dengan perubahan layout sprinkler.....	20
Gambar 4. 4 Pola perubahan tempertur pada berbagai perbedaan layout sprinkler....	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang masalah

Sebagaimana telah kita ketahui bersama bahwa Indonesia merupakan negara kepulauan (archipelagic state) terbesar di dunia dimana 2/3 (dua pertiga) wilayahnya merupakan perairan yang terdiri dari 17.504 pula besar dan kecil yang membentang dari sabang sampai merauke. Dimana sektor perhubungan khususnya sub-sektor perhubungan laut memiliki peranan penting bagi seluruh lapisan masyarakat.

Kapal penyebrangan sebagai salah satu moda transportasi yang cukup berkembang di Indonesia merupakan bagian dari system transportasi nasional. Sebagai salah satu moda transportasi yang digunakan untuk pengangkutan orang, barang dan hewan maka aspek keselamatan dan keamanan jiwa, harta benda dan perlindungan lingkungan maritim merupakan hal-hal yang tidak dapat diabaikan. Oleh sebab itu, sebagaimana halnya dunia pelayaran pada umumnya yang menerapkan prinsip-prinsip safe, secure and efficient on clean oceans, maka Indonesia memerlukan instrument nasional yang mencakup ketiga aspek utama tersebut diatas bagi seluruh kapal yang berlayar di Indonesia yang mengacu kepada kondisi alam geografis di Indonesia secara khusus disamping instrumen-instrumen internasional yang sudah ada yang mengacu kepada kondisi internasional.

Pendefinisian kapal Ro-ro oleh Lloyd's Register adalah kapal penumpang dengan satu deck atau lebih deck tertutup maupun terbuka yang mengangkut penumpang, kendaraan dan barang yang ada di dalam kendaraan dalam bentuk curah atau palet atau box, kendaraan diatas kendaraan, container carry, dll yang bongkar muatnya secara horizontal.

Kapal Ro-Ro adalah kapal yang bisa memuat kendaraan yang berjalan masuk kedalam kapaldengan penggeraknya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga sehingga disebut sebagai kapal roll on – roll off disingkat Ro-Ro. Untuk itu kapal

Universitas Indonesia

dilengkapi dengan pintu rampa yang dihubungkan dengan jembatan bergerak (moveble bridge) atau dermaga apung ke dermaga.

Dalam perkembangannya kapal Ro-ro selain digunakan untuk angkutan mobil barang yang juga digunakan untuk mengangkut mobil penumpang, sepeda motor serta penumpang jalan kaki sehingga penggunaan istilah kapal Ro-ro berkembang menjadi istilah Ro-pax (ro-ro-passenger). Angkutan ini merupakan pilihan populer antara Jawa dengan Sumatera di Merak-Bakauheni, antara Jawa dengan Madura dan antara Jawa dengan Bali.

Sejumlah kapal penyebrangan mengalami kecelakaan dalam beberapa tahun belakangan. Komite Nasional Keselamatan Transportasi atau KNKT menilai, selama ini 90 persen kecelakaan laut yang terjadi di Indonesia disebabkan oleh faktor manusia. Oleh karena itu, profesionalitas dan kompetensi dari operator pelayaran sangat dibutuhkan disamping kelengkapan fasilitas keamanan pelayaran. Untuk mengendalikan kecelakaan di laut secara internasional diatur dengan berbagai macam ketentuan, akan tetapi jalur pelayaran di Indonesia membuat peraturan tersendiri untuk melindungi perusahaan pelayaran yang ada. Untuk itu pemerintah mengeluarkan peraturan yaitu Permen Perhub NO KM 65 tahun 2009 tentang standard kapal non-konvensi berbendera Indonesia. Salah satu penyebab terjadinya kecelakaan pada kapal penyebrangan yang akan dibahas pada tulisan ini adalah kebakaran yang terjadi pada beberapa kapal penyebrangan diantaranya KM Levina I (2007), Dharma Ferry 3 dan Dharma Kencana (2008), serta kecelakaan terbaru pada Januari 2011 KMP Laut Teduh II.

Berdasarkan data diatas dapat terjadi dua jenis kerugian yang disebabkan oleh kebakaran, yaitu kerugian material dan kerugian nkeselamatan jiwa manusia. Beberapa penanggulangan kebakaran lebih mengutamakan keselamatan manusia terlebih dahulu, untuk kemudian meminimalisir kerugian material yang ada. Kerugian keselamatan jiwa manusia dapat berupa kerugian langsung seperti terserang temperatur yang tinggi atau keracunan asap, maupun tidak langsung seperti terluka, terjatuh, dan mengalami shock/serangan psikologis.

Perhatian terhadap kebakaran di kapal harus sangat tinggi, terutama karena banyaknya bahan-bahan yang mudah terbakar yang dibawa oleh kapal ditambah lagi kapal ro-ro membawa kendaraan yang tanki bahan bakarnya tidak kosong. Ancaman kebakaran tergantung dari terkendali atau tidaknya nyala api. Kebakaran biasanya terjadi di geladak bawah, seperti di ruang mesin atau di geladak kendaraan. Permasalahan yang timbul selanjutnya adalah memadamkan api dari atas, mengendalikan api dan kalau upaya pemadaman api tidak berhasil, selanjutnya melakukan evakuasi terhadap penumpang. Pada prinsipnya bahwa nyala api sebenarnya adalah suatu reaksi dari 3 unsur yaitu, bahan bakar (fuel) atau bahan yang mudah terbakar seperti kertas, kayu dan sebagainya, panas(energy) serta oksigen. Reaksi dari ketiga unsur tersebut hanya akan terjadi bila berjalan dengan cepat dan seimbang. Bila salah satu unsur ditiadakan maka dengan sendirinya nyala api akan padam.

Terdapat dua macam system penanggulangan atau proteksi kebakaran, yaitu system proteksi aktif dan system proteksi pasif. System proteksi aktif merupakan system penanggulangan atau proteksi kebakaran melalui sarana aktif pada bangunan yang menangani kebakaran secara langsung. Yang termasuk dalam system proteksi aktif seperti smoke detector, heat detector, alarm sebagai alat pendeteksi kebakaran, dan sprinkler, hydran, APAR sebagai alat pemadam kebakaran. Sedangkan system proteksi pasif merupakan system penanggulangan proteksi kebakaran melalui sarana pasif yang terdapat pada bangunan, seperti meningkatkan kinerja bahan bangunan, struktur bangunan, pengontrolan dan penyediaan fasilitas pendukung penyelamatan terhadap bahaya api dan kebakaran.

System pemadam api yang telah disebutkan diatas telah banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat. Bahkan telah banyak standar-standar tentang system proteksi aktif untuk menjamin bahwa system proteksi telah terpasang dan dapat berfungsi dengan baik. Namun pada kenyataannya masih banyak terdapat kekurangan dalam penggunaan system proteksi ini, seperti penggunaan water sprinkler yang mengeluarkan air dalam jumlah yang berlebih dan ukuran diameter butiran air yang

terlalu besar, sehingga dapat merusak peralatan yang terkena air. Upaya penggunaan alat pemadam api ringan (APAR) yang pada saat ini banyak digunakan masih menggunakan zat-zat yang secara langsung dan tidak langsung membahayakan jiwa manusia, seperti Halon, CO₂ dan serbuk kimia kering. Berdasarkan hal-hal tersebut telah banyak usaha pengembangan system proteksi kebakaran yang lebih mudah digunakan, efektif untuk segala jenis kebakaran, ramah lingkungan, dan dengan harga yang murah.

Salah satu upaya untuk mengendalikan nyala api adalah dengan mendinginkan bahan-bahan yang mudah terbakar (pada kapal ferri terdapat bahan bakar cair dan padat) sehingga benda-benda tersebut tidak ikut terbakar, cara yang paling mungkin dilakukan adalah pemadaman dengan air. Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya, didapatkan sebuah gagasan untuk menciptakan inovasi pada alat pemadam yang menggunakan system otomatis, dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Alat pemadam tersebut harus dapat menjangkau seluruh titik pada geladak kendaraan
2. Pada keadaan darurat sangat sulit untuk mengendalikan penumpang yang panik dan akan membuat keadaan semakin menyulitkan petugas pemadam menjangkau titik api.
3. Pada geladak kendaraan yang panjang tersebut tidak seluruhnya memerlukan air untuk memadamkan api.

System pemadam yang sedang dirancang ini menggunakan nosel yang dapat menghasilkan diameter butiran air yang lebih kecil jika dibandingkan dengan alat pemadam yang telah ada sekarang. Alat pemadam tetap ini berada di langit-langit geladak kendaraan karena pada posisi tersebutlah alat tersebut dapat memiliki akses keseluruhan ruangan sesuai dengan daya cakup nosel tersebut. Lalu karena posisinya yang lebih tinggi dari beberapa objek yang terdapat pada geladak tersebut, akan menghasilkan zona cakupan yang cukup luas.

Saran pada perencanaan alat ini adalah karena kapal Ro-ro mengangkut berbagai macam muatan yang mudah terbakar, haruslah memiliki system pemadam api yang dapat secara efektif menjangkau setiap titik api terutama pada geladak kendaraan yang biasanya sarat dengan berbagai macam kendaraan.

1.1 Perumusan masalah

Perumusan masalah pada Skripsi ini adalah :

1. Mengetahui lamanya waktu yang diperlukan untuk memadamkan api pada suatu kebakaran.
2. Memberikan rekomendasi mengenai tataletak alat pemadam api tetap (*Fixed Water Fire Extinguishing System*) baru yang lebih mudah mengakses setiap sudut geladak kendaraan pada kapal penyebrangan.
3. Meningkatkan standar keamanan pada setiap muatan yang ada pada kapal tersebut
4. Diperlukan adanya mekanisme untuk mengendalikan aliran fluida pemadam agar dapat menjangkau titik-titik api dengan efektif

1.2 Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan diameter butiran air dan tataletak sprinkler pada penyerapan panas saat pemadaman api di ruang muat kapal ferry. Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya penurunan temperatur bahan bakar saat pemadaman dengan perubahan diameter butiran air dan tataletak sprinkler.
2. Memberikan gambaran kecenderungan perubahan pola temperatur pada lingkungan saat terjadi kebakaran dan setelah terjadi pemadaman oleh alat pemadam agar didapatkan cara yang efektif agar waktu pemadaman dapat dipercepat.
3. Untuk memenuhi syarat kelulusan dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Universitas Indonesia.

1.3 Batasan masalah

Kapal-kapal yang diteliti pada skripsi ini adalah kapal ro-ro yang beroperasi pada jalur penyebrangan Merak – Bakauheni, dengan dimensi geladak kendaraan yang beragam sesuai dengan hasil observasi sebagai berikut :

- a. Area yang diteliti ialah sebagian dari luas geladak kendaraan sebesar 20 x 15 m pada Kapal Ferry yang beroperasi di jalur penyebrangan Merak – Bakauheni
- b. Data-data alat pemadam kebakaran yang ada pada geladak kendaraan, serta skenario yang akan dilakukan pada saat terjadi keadaan darurat

Pada penulisan skripsi ini mencakup pemodelan pada computer tentang keefektifitasan alat pemadam api yang telah direncanakan. Yang akan diteliti ialah jangkauan sudut nozel dalam mencapai titik-titik api serta merencanakan mekanika elektronik pengendali buka-tutup sprinkler. Lalu akan dihitung debit dan daya jangkau air yang keluar dari sprinkler pemadam dan dibandingkan dengan beberapa perbedaan besar sudut antara nozel dengan bidang horizontal. Kemudian dari nilai debit air yang dapat terukur tersebut dapatlah ditentukan daya pompa yang akan dibutuhkan.

1.4 Ruang Lingkup

Pada tulisan ini dibahas tentang layout alat-alat pemadam api pada geladak kendaraan yang telah terpasang sekarang.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam menyelesaikan masalah pada skripsi ini penulis menggunakan metode :

1. Studi literatur dari berbagai referensi
2. Observasi langsung pada kapal ro-ro yang beroperasi di jalur Merak – Bakauheni dan membuat pemodelan computer setiap layout kapal yang ada.
3. Pengolahan data secara kualitatif dan kuantitatif
4. Analisa hasil pengolahan data

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bagian, agar mudah dalam memahami dan mempelajarinya. Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

Bab I. PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang masalah sehingga penelitian ini dilakukan, perumusan masalah berdasarkan latar belakang masalah tersebut, tujuan penelitian disesuaikan dengan perumusan masalah, dan sistematika penulisan, pembatasan masalah agar pembahasan tidak melebar metodologi penelitian dan sistematika penulisan. Pokok bahasan saran dan ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan dijelaskan pada sub-bab perumusan masalah, tujuan penulisan, serta pembatasan masalah. Sedangkan, sub-bab metodologi penelitian dan sistematika penulisan memberikan gambaran awal mengenai proses yang terjadi pada penelitian serta pembahasan isi skripsi secara singkat.

Bab II. DASAR TEORI

Bagian ini berisi landasan teori dalam melakukan penelitian. Dasar teori yang terdapat dalam penelitian ini yaitu mengenai proses pembakaran bahan bakar cair, sistem pemadam api, dan sistem pemadam kebakaran pada ruang muat kapal.

Bab III. PERANCANGAN DAN PENGUJIAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan dalam pengambilan data pengujian. Persiapan alat uji sebelum dilakukan pengujian, dan metode/cara pelaksanaan pengambilan data juga terdapat pada bagian ini.

Bab IV. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Bagian ini menampilkan data yang telah didapat dari hasil pengujian. Data yang didapat kemudian diolah, untuk dilakukan analisis sesuai dengan hasil yang didapat dan berdasarkan literature yang ada. Analisis yang dilakukan mengenai pengaruh diameter butiran air yang disemprotkan dan tataletak sprinkler terhadap keefektifan alat pemadam tersebut.

Bab V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan dan saran dari penulis

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memuat sumber data dan referensi yang digunakan sebagai acuan pembuatan skripsi ini.

LAMPIRAN

Bagian ini berisikan data dan referensi yang akan disertakan dalam skripsi ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Teori Kebakaran

2.1.1 Definisi Api

A. Api

Api didefinisikan sebagai suatu peristiwa/reaksi kimia eksotermik yang disertai timbulnya panas/kalor, cahaya(nyala), asap dan gas dari bahan yang terbakar. Pada umumnya api dapat terbentuk dengan bantuan oksigen (udara mengandung 20,9 % oksigen), benda-benda yang dapat terbakar (*combustible*), dan sumber panas/nyala bias didapat dari mesin, listrik, dll (Building & Plant Institute dan Ditjen Binawas Depnaker, 2005).

B. Segitiga Api

Apabila suatu molekul mengadakan kontak sangat dekat dengan molekul oksidator (yaitu oksigen), maka pada umumnya akan terjadi reaksi kimia. Apabila tumbukan antar molekul hanya berenergi rendah., maka reaksi kimia tidak akan terjadi. Tetapi apabila energi cukup besar maka reaksi akan berlangsung. Karena reaksi eksotermis, maka banyak panas yang terbentuk.

Enrgi ini akan memanaskan bahan dan oksidan yang selanjutnya akan bereaksi dan menimbulkan reaksi kebakaran. Dari peristiwa ini dapat diambil kesimpulan bahwa proses pembakaran terjadi oleh adanya 3 unsur yaitu :

- Bahan Bakar
- Oksigen
- Energy

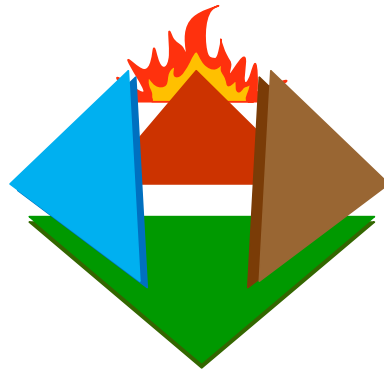
Ketiga unsur diatas apabila bertemu akan terjadi api. Oleh karena itu disebut segitiga api. Apabila salah satu unsur diambil, maka api padam dan inilah prinsip dari pemadaman api. Prinsip segitiga api ini dipakai dasar untuk mencegah kebakaran dan penanggulangan api (Milos Nedved dan Soemanto Imamkhasani, 1991).

Gambar 2.1 Fire Triangle

Sumber. Splendoroftruth.com

C. Bidang Empat Api

Perkembangan dari teori segitiga api adalah ditemukannya unsure keempat yang menyebabkan timbulnya api. Unsur yang keempat ini adalah rantai-reaksi. Dalam teori ini dijelaskan bahwa pada saat energi diterapkan pada bahan bakar seperti hidrokarbon, beberapa ikatan karbon dengan karbon lainnya terputus dan menghasilkan radikal bebas. Sumber energi yang sama juga menyediakan kebutuhan energi untuk memutus beberapa rantai karbon dengan hidrogen sehingga menghasilkan radikal bebas lebih banyak. Selain itu, rantai oksigen dengan oksigen lainnya juga ikut terputus dan menghasilkan radikal oksida. Jika jarak antara radikal-radikal ini cukup dekat maka akan terjadi penggabungan kembali (*recombining*) radikal bebas dengan radikal lainnya atau dengan kelompok fungsional yang lain. Pada proses pemutusan rantai, terjadi pelepasan energi yang tersimpan di dalam rantai tersebut. Energi yang lepas dapat menjadi sumber energi untuk memutuskan rantai yang lain dan melepaskan energi yang lebih banyak lagi (Depnaker RI, 1999)



Gambar 2.2 *Tetrahedron of Fire*

Syarat-syarat terjadinya api

Api adalah reaksi kimia yang sedang berlangsung antara bahan bakar, panas dan oksigen yang diikuti oleh nyala api dan panas. Dengan demikian kebakaran dan keseimbangan ketiga unsur tersebut merupakan syarat mutlak untuk menghasilkan api. Karena api terbentuk dari reaksi ketiga unsure tersebut, maka hubungan ketiga unsure tersebut dapat digambarkan secara berantai membentuk sebuah segitiga yang disebut dengan istilah Segitiga Api (Fire Triangle).

Reaksi yang tergambar pada segitiga api adalah reaksi berantai yang berjalan dengan seimbang. Bila keseimbangan reaksi tersebut terganggu maka reaksi akan berhenti atau api akan padam. Oleh karena itu dasar-dasar dari sistem pemadaman api sesungguhnya adalah : mengganggu keseimbangan reaksi api dapat dilakukan melalui tiga alternatif, yaitu :

1. Pendinginan

Adalah cara pemadaman api dengan cara menurunkan panas, sehingga temperatur bahan yang mudah terbakar turun samapai dibawah titik nyalanya

2. Isolasi

Adalah pemadaman api dengan jalan menurunkan kadar oksigen sampai dibawah 12% cara ini disebut juga Lokalisasi, mencegah reaksi anantara bahan yang mudah terbakar dengan oksigen.

3. Penghalang radiasi

Dengan menghalangi energy panas yang di pancarkan oleh bahan yang terbakar, sehingga temperatur disekitar bahan bakar tersebut dapat terkendali.

4. Cara penguraian

Adalah cara pemadaman api dengan jalan memisahkan atau menyingkirkan bahan-bahan yang mudah terbakar.

Metode pemadaman api yang akan dibahas pada tulisan ini adalah alternative pertama yaitu pendinginan bahan mudah terbakar hingga dibawah titiknyala benda tersebut.

Titik nyala

Titik nyala (flash point) adalah temperatur terendah dari suatu bahan untuk dapat diubah menjadi uap, dan akan menyala jika tersentuh api (menyala sekejap). Makin rendah titik nyala suatu bahan, maka benda tersebut makin mudah terbakar; sebaliknya makin tinggi titik nyala suatu bahan maka benda tersebut akan semakin sulit untuk terbaaar. Bahan yang titik nyalanya rendah digolongkan sebagai bahan yang mudah terbakar, contohnya adalah :

Benda padat : kayu, kertas, karet, plastic, tekstil dan lain-lain

Benda cair : bensin, spiritus, solar, oli dan lain-lain

Benda gas : asetilen, LPG dan lain-lain

Titik bakar

Titik bakar (fire point) adalah temperatur ternedah dimana suatu zat atau bahan cukup mengeluarkan uap dan terbakar bila diberi sumber panas. Titik bakar setiap zat berbeda-beda(contohnya : bensin = 50°C; kerosin = 40°C – 70°C; solar = ±150°C). Sumber-sumber panas yang ada dikapal adalah panas matahari, mesin-mesin serta gas buangnya, hubungan pendek arus listrik dan sebagainya. Panas yang berasal dari sumber-sumber tersebut dapat berpindah melalui tiga cara antara lain :

- Radiasi : perpindahan panas dengan cara pancaran
- Konduksi : perpindahan panas melalui getaran antar partikel perantara
- Konveksi : perpindahan panas melalui aliran partikel perantara

2.1.2 Definisi Kebakaran

A. Kebakaran

Menurut NFPA (*National Fire Protections Asscociation*) kebakaran merupakan peristiwa oksidasi dimana bertemunya 3 buah unsur yaitu bahan yang dapat terbakar, oksigen yang terdapat diudara dan panas yang dapat berakibat menimbulkan kerugian harta benda atau cedera bahkan kematian manusia (Building & Plant Institute dan Ditjen Binawas Depnaker, 2005). Dapat disimpulkan bahwa kebakaran adalah suatu kejadian yang tidak diinginkan dan kadang kala tidak dapat dikendalikan, sebagai hasil pembakaran suatu bahan dalam udara dan mengeluarkan energi panas dan nyala.

Jadi reaksi pembakaran dapat ditulis sebagai berikut:



B. Tahapan Kebakaran

1. Tahap Penyalaan

Tahap ini ditandai dengan munculnya api yang disebabkan oleh adanya energy panas yang mengenai material yang dapat terbakar. Energi panas tersebut bisa berasal dari panas akibat ledakan kompor, konsleting listrik, puntung rokok yang membara dll. Akibat dan gejala yang ditimbulkannya masih relatif kecil sehingga kejadian pada tahap ini seringkali tidak diketahui.

2. Tahap pertumbuhan

Setelah tahap penyalaan, api mulai berkembang sebagai fungsi dari bahan bakar. Udara yang ada cukup untuk mensuplai pembakaran. Jika material yang ada masih cukup banyak maka pertumbuhan api berlangsung terus sehingga menyebabkan kenaikan temperatur. Pada tahap ini api masih terlokalisasi dan temperatur masih dibawah 300°C. Tahap pertumbuhan ini merupakan tahap yang paling baik untuk evakuasi penumpang dan detektor kebakaran harus sudah mulai

bekerja. Upaya pengendalian kebakaran semestinya dilakukan juga pada tahap ini karena selepas *flashover* api akan sulit untuk dikendalikan.

3. Tahap *flashover*

Flashover secara didefinisikan sebagai masa transisi antara tahap pertumbuhan dengan tahap pembakaran penuh. Proses berlangsungnya sangat cepat dan temperatur suhunya mencapai 600°C.

4. Tahap pembakaran penuh

Pada tahap ini kalor yang dilepaskan (*heat release*) sangat besar, sehingga temperatur sistem mencapai 1200°C. Hal ini disebabkan karena seluruh material yang ada ikut terbakar.

5. Tahap surut

Tahap surut tercapai bila material seluruhnya telah terbakar dan laju pembakaran berangsur menurun yang juga menyebabkan terjadinya penurunan temperatur.

Gambar 2.3 Tahap Perkembangan Api
Sumber. *Fundamental of Fire Phenomena*

2.2 Cara Memadamkan Api

Dengan mengetahui sifat dan karakteristik, api beserta unsur-unsur pembentuknya (segitiga dan bidang empat api) maka secara umum pemadaman dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Pemadaman dengan cara pendinginan (*cooling*)

Salah satu cara yang umum untuk memadamkan api adalah dengan cara pendinginan/menurunkan temperatur bahan bakar sampai tidak menimbulkan uap/gas untuk pembakaran. Air adalah salah satu bahan pemadam yang terbaik untuk menyerap panas. Air akan menghisap sebagian besar panas apabila ia berubah menjadi uap dan air akan lebih mudah menguap apabila berbentuk tetesan-tetesan. Jumlah air yang diperlukan untuk memadamkan kebakaran tergantung dari suhu api tersebut, kecepatan aliran, jumlah aliran air dan jenis dari air yang dipakai.

2. Pemadaman dengan cara pembatasan oksigen (*smothering*)

Dengan membatasi atau mengurangi oksigen dalam proses pembakaran api akan dapat padam. Pembatasan oksigen dapat dilakukan dengan metode pemisahan oksigen dan pengenceran. Pemisahan oksigen dilakukan dengan cara menghalangi kontak dengan oksigen misalnya dengan selimut basah, pasir dan busa. Sedangkan pengenceran reaktan mengakibatkan konsentrasi oksigen turun sampai dibawah titik bakar sehingga api akan padam, hal ini dapat dilakukan dengan penyemprotan karbon dioksida pada api.

3. Pemadaman dengan cara pemindahan bahan bakar (*starvation*)

Suatu kebakaran bahan yang terbakar dapat dipisahkan dengan jalan menutup aliran yang menuju ketempat kebakaran atau menghentikan suplai bahan bakar yang dapat terbakar. Pemindahan bahan bakar untuk memadamkan api lebih efektif akan tetapi tidak selalu dapat dilakukan dalam prakteknya mungkin lebih sulit, sebagai contoh: pemindahan bahan bakar yaitu dengan menutup/membuka karangan, memompa minyak ke tempat lain, memindahkan bahan-bahan yang mudah terbakar dan lain-lain.

4. Pemadaman dengan cara memutuskan rantai reaksi api

Cara yang terakhir untuk memadamkan api adalah dengan mencegah terjadinya reaksi rantai di dalam proses pembakaran. Radikal-radikal bebas yang ada pada reaksi rantai diganggu fungsinya oleh beberapa zat kimia tertentu yang mempunyai sifat mencegah sehingga terjadi reaksi rantai oleh atom-atom ini, maka nyala api lama kelamaan akan padam. Pemutusan rantai reaksi pembakaran ini dapat dilakukan secara fisik, kimia atau kombinasi fisika-kimia. Secara fisik nyala api dapat dipadamkan dengan peledakan bahan peledak ditengah-tengah kebakaran. Secara kimia pemadaman nyala api dapat dilakukan dengan pemakaian bahan-bahan yang dapat menyerap hidroksit (OH) dari rangkaian rantai reaksi pembakaran. Bahan-bahan tersebut dapat dibedakan dalam 3 kelompok, yaitu:

- Logam alkali berupa tepung kimia kering (*dry chemicals*)
- Ammonia berupa tepung kimia kering
- Halogen yang berupa gas dan cairan

(Building & Plant Institute dan Ditjen Binawas Depnaker, 2005)

2.3 Sprinkler

Sprinkler adalah suatu alat semacam penyemprot (*nozzle*) yang dapat memencarkan air secara pengabut (*fog*) dan bekerja otomatis dengan bahan pemadam air.

Istilah “*water spray*” mengacu pada semprotan air yang halus yang tetap tersuspensi dalam udara untuk periode yang cukup lama. Secara ekonomi sistem ini dinilai lebih mahal jika dibandingkan dengan sprinkler konvensional dan gas halon. Secara teknis sistem kabut (*fog*) memerlukan perhatian lebih pada kebutuhan tekanan yang tinggi untuk menghasilkan semprotan yang halus, kemungkinan penyumbatan *nozzel* serta keraguan mengenai kemampuan maintainen peralatan untuk waktu yang lama.

Sistem *water spray* beroperasi dengan prinsip pembangkitan butiran air yang sangat halus dan mengantarkannya hingga ke titik api. Keuntungan, sistem *water*

spray sangat efektif pada sistem pemadaman api baik pada panas spesifik yang tinggi dan panas dari penguapan yang berhubungan dengan peningkatan area permukaan yang dapat mempercepat penyerapan panas. Sebagai perbandingan, sistem sprinkler konvensional beroperasi dengan pembentukan butiran air yang lebih besar dan jatuh melampaui zona api serta memadamkan api dengan cara mendinginkan dan membasahi permukaan yang ada disekitarnya.

Menurut SNI 03-3989-2000, instalasi sprinkler pemadam kebakaran yang dipasang secara tetap/permanen didalam bangunan yang dapat memadamkan kebakaran secara otomatis dengan menyembrotkan air di tempat mulai terjadinya kebakaran. Menurut NFPA (*National Fire Protections Asscociation*) 13, sistem sprinkler dibagi beberapa jenis yaitu :

1. *Dry Pipe System*

Adalah susatu system yang menggunakan sistem sprinkler otomatis yang disambungkan dengan sistem perpipaannya yang mengandung udara atau nitrogen bertekanan. Pelepasan udara tersebut akibat adanya panas sehingga membuka *dry pipe valve*.

2. *Wet Pipe System*

Sistem sprinkler yang bekerja secara otomatis tergabung dengan sistem pipa yang berisi air yang terhubung dengan suplai air sehingga air dikeluarkan dengan segera dari sprinkler yang terbuka secara otomatis akibat adanya panas api.

3. *Deluge System*

Adalah suatu sistem yang menggunakan kepala sprinkler terbuka, disambungkan dengan sistem perpipaan yang dihubungkan dengan suplai air melalui suatu *valve*. *Valve* ini dibuka dengan cara mengoperasikan sistem sensor yang dipasang pada area yang sama dengan sprinkler. Ketika *valve* dibuka, air akan mengalir kedalam sistem perpipaan dan dikeluarkan dari seluruh sprinkler yang ada.

4. *Preaction System*

Sistem ini bekerja secara otomatis yang disambungkan dengan sistem pipa udara yang bertekanan atau tidak bertekanan, dengan tambahan sistem deteksi yang

tergabung pada area yang sama dengan sprinkler. Penggerak sistem deteksi membuka katup yang dapat membuat air dapat mengalir kedalam sistem pipa sprinkler dan air dikeluarkan melalui beberapa sprinkler yang terbuka.

5. *Combine Dry pipe-preaction*

Sistem sprinkler bekerja secara otomatis dan terhubung dengan sistem yang mengandung air bertekanan yang dilengkapi dengan sistem deteksi yang terpasang pada area yang sama dengan sprinkler. Sistem operasi deteksi menemukan sesuatu yang janggal yang dapat membuka pipa kering secara simultan dan tanpa adanya kekurangan tekanan air didalam sistem tersebut.

Menurut SNI 03-3989-2000 sistem sprinkler dikenal dengan dua macam, yaitu sprinkler berdasarkan arah pancaran dan sprinkler berdasarkan kepekaan terhadap perubahan suhu. Berikut klasifikasi kepala sprinkler:

1. Berdasarkan arah pancaran :
 - Pancaran keatas
 - Pancaran kebawah
 - Pancaran kearah dinding
2. Berdasarkan kepekaan terhadap suhu :
 - a. Warna segel
 - Warna putih pada temperatur 93°C
 - Warna biru pada temperatur 141°C
 - Warna kuning pada temperatur 182°C
 - Warna merah pada temperatur 227°C
 - Tidak berwarna pada temeratur 68°C/74°C
 - b. Warna cairan dalam tabung gelas
 - Warna jingga pada temperatur 53°C
 - Warna merah pada temperatur 68°C
 - Warna kuning pada temperatur 79°C

- Warna hijau pada temperatur 93°C
- Warna biru pada temperatur 141°C
- Warna ungu pada temperatur 182°C
- Warna hitam pada temperatur 201°C/260°C

Sistem *water spray* yang ada sekarang mempunyai keunggulan dan kekurangan dibandingkan dengan sistem sprinkler konvensional. Hal ini dapat membuat sistem tersebut menjadi pilihan yang lebih baik pada beberapa situasi, daripada membandingkannya secara langsung pada semua kejadian.

2.4 Evaporasi butiran air

Proses penguapan (evaporasi) butiran air-butiran air tergantung dari temperatur dan kandungan air yang ada di udara sekeliling butiran air.

Gambar 2.4 Penyerapan energi oleh air

Perubahan diameter droplet setiap waktu dapat ditulis :

(2.1)

Untuk butiran air kecil, koefisien perpindahan panas h dinyatakan dengan bilangan tak berdimensi Nusselt (Nu) :

(2.2)

Untuk butiran air yang lebih kecil dari 0.1 mm, butiran air tersebut akan mengalami perlambatan secara cepat dan mencapai kecepatan terminalnya dengan cepat. Pada kecepatan tersebut, konveksi alamiah akan mendominasi dan bilangan Nusselt akan sama dengan 2. Dengan menggabungkan persamaan terakhir diatas akan menghasilkan :

(2.3)

Jika perbedaan temperatur antara butiran air dan udara konstan setiap saat, maka integrasi persamaan diatas akan menghasilkan :

(2.4)

Diman t adalah waktu, sedangkan β diperoleh dari :

(2.4)

Dari sejumlah percobaan yang telah dilakukan sebelumnya dapat diketahui bahwa umur butiran air hilang karenaproses evaporasi tidak tidak dipengaruhi oleh kecepatan awal butiran air. Alasannya adalah karena besarnya perlambatan yang dialami oleh butiran air. Kecepatan awal butiran air yang tinggi (tekanan nossel yang besar) tersebut hanya berlangsung singkat tetapi tida memberikan pengaruh yang besar dalam meningkatkan laju penguapan.

2.5 Performa pemadaman dengan air

Air dapat memadamkan api dengan berbagai cara, diantaranya adalah :

1. Pemadaman flame. Butiran air memasuki flame, kemudian flame mengalami pendinginan ke temperatur yang cukup rendah sehingga flame tidak bisa menyala lagi, akibatnya api akan padam. Permukaan panas dari bahan bakar tersebut akan terus memproduksi produk pyrolisis untuk jangka waktu tertentu yang dapat memicu terjadinya re-ignition.

2. Penurunan kadar oksigen. Butiran air yang terdispersi di udara dapat mengurangi kandungan oksigen di sekitar bahan bakar. Maka bahan bakar tersebut tidak dapat bereaksi dengan oksigen sehingga reaksi pembakaran akan mengalami kekurangan oksigen dan dengan sendirinya api akan padam.
3. Butiran air menghalangi atau mengurangi re-radiasi dari nyala api karena itu mengurangi laju pemanasan dan laju pyrolysis dari permukaan bahan bakar.

A. Pemadaman Flame (Nyala Api)

Ketika *water spray* disemprotkan kedalam api, seperti gambar dibawah ini, beberapa drop air () tertahan didalam flame dan sisanya ((1-)), menembus flame dan mencapai permukaan pembakaran.

Butiran air yang tertahan tadi menyerap panas dari flame dan panas yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan campuran udara-bahan bakar dan butiran air. Persamaan kesetimbangan energy umum : Q_{out} adalah panas yang dikeluarkan dari laju pembakaran. Besarnya nilai panas ini adalah :

(2.5)

Panas tersebut lalu diberikan kepada droplet air ($Q_{in 1}$), udara sekitar ($Q_{in 2}$), dan permukaan bahan bakar ($Q_{in 3}$), panas yang diterima butiran air ($Q_{in 1}$) digunakan untuk menguapkan air, lalu menaikkan temperatur uapnya ke temperatur adiabatik. Besarnya nilai kalor ini adalah :

(2.6)

Panas yang diterima udara langsung diserap oleh udara sekitar. Nilai panas yang dibuang keudara ini adalah :

(2.7)

Sedangkan panas yang diterima permukaan bahan bakar adalah :

(2.8)

Dengan menggabungkan keempat persamaan diatas, maka persamaan gabungannya adalah :

(2.9)

Dimana diasumsikan bahwa flame memiliki temperatur yang seragam (T_f) dan kapasitas termal C_p dari bahan bakar, udara dan air tidak berubah terhadap temperatur. Laju pembakaran bahan bakar \dot{m}_f , nilainya sama dengan laju pengapan bahan bakar. Sedangkan x adalah fraksi massa total *water spray* yang terlibat dalam pendinginan flame. ϕ adalah air-fuel ratio (AFR). Nilai AFR ini lebih besar dari AFR stoikiometrik, karena sifat api yang terbakar adalah non-premixed, sehingga udara yang masuk kedalam api melebihi jumlah udara yang dibutuhkan untuk membakar bahan bakar, dan juga menyemprotkan *water spray* turut membawa tambahan udara kedalam flame.

Api dapat padam, ketika *water spray* mendinginkan zona reaksi sampai dibawah batas temperatur nyala adiabatiknya, yang mampu menghentikan proses pembakaran udara dengan bahan bakar. Untuk kebanyakan hidrokarbon dan uap organic, batas temperatur adiabatiknya mendekati 1600 K (1327° C).

Butiran air air yang mencapai permukaan bahan bakar akan mendinginkan bahan bakar. Api juga dapat padam karena laju uap bahan bakar, atau laju pembakaran berkurang karena adanya pendinginan dan tidak dapat mempertahankan nyala api. Kesetimbangan energy pada permukaan bahan bakar pada kondisi ini adalah

(2.10)

Dimana fraksi f_c adalah fraksi maksimum dari panas pembakaran menghilangkan api dari bahan bakar tanpa adanya self extinction. q_{ext} adalah laju panas eksternal yang diberikan kepada bahan bakar dan dapat diabaikan dalam aplikasi pemadam api local. q_{loss} adalah heat loss dari bahan bakar, termasuk heat loss ke udara sekitar melalui radiasi, ke dalam bahan bakar sendiri melalui konduktansi ke butiran air air.

(2.11)

Dimana q_{cond} adalah heat loss dari permukaan bahan bakar ke dalam bahan bakar dan dapat dinyatakan dengan

(2.12)

Sehingga kesetimbangan energy pada permukaan bahan bakar selama pemadaman dapat ditulis menjadi :

(2.13)

Pada bahan bakar dengan titik nyala yang tinggi seperti minyak goreng, kayu dan bahan bakar padat, temperatur permukaannya pada saat pembakaran juga tinggi (~ 400 - 500°C), yang membuat terjadinya heat loss secara radiasi yang signifikan melalui pembakaran bahan bakar. Heat loss ke air juga signifikan ketika butiran air mengenai dan menguap pada permukaan bahan bakar yang panas. Api dapat dipadamkan melalui pendinginan air melalui pendinginan permukaan bahan bakar.

Untuk kebanyakan cairan bahan bakar, temperatur permukaannya saat terbakar mendekati, tapi masih dibawah titik didihnya. Oleh karena itu untuk bahan bakar cair yang memiliki titik didih yang rendah ($<100^{\circ}\text{C}$) atau temperatur permukaannya yang rendah, seperti heptana, radiatif losses-nya ke butiran air melalui penguapan dapat diabaikan, dan heat loss dari permukaan bahan

bakar dapat disederhanakan menjadi :

(2.14)

Kesetimbangan energy pada permukaan bahan bakar untuk bahan bakar cair seperti ini menjadi :

(2.15)

Persamaan diatas menunjukkan bahwa temperatur permukaan terlalu rendah saat pemadaman, maka akan sulit memadamkan api dengan cara mendinginkan permukaan tersebut, karena heat loss dari permukaan tersebut lebih kecil dari pada panas yang diperoleh dari flame.

Kesetimbangan energy pada persamaan (2.13) dan (2.15) untuk flame dan permukaan bahan bakar juga menunjukkan bahwa laju pembakaran karena bahan bakar

berhubungan dengan sifat bahan bakar dan pemberian *water spray* merupakan parameter yang penting untuk menentukan bagaimana api tersebut padam. Sehingga dapat dinyatakan bahwa :

(2.16)

Dimana Q_{loss} adalah heat loss dari bahan bakar dan dinyatakan dari persamaan (2.14) diatas. h_c adalah laju panas yang ditransfer ke permukaan bahan bakar dari flame. Panas yang dipindahkan tersebut terjadi secara konduksi dari wadah, konveksi dan radiasi dari flame :

(2.17)

(2.18)

(2.19)

(2.20)

Salaam pemadaman api pada aplikasi yang sebenarnya, ukuran wadah besar, atau bahan bakar tidak terdapat pada wadah. Perpindahan panas konduktif dari wadah menjadi terbatas dan dapat diabaikan, sehingga persamaan (2.20) menjadi

(2.21)

Dengan menggabungkan persamaan (2.14) dan (2.16), laju pembakaran untuk bahan bakar yang mudah terbakar menjadi

(2.22)

Dengan menggabungkan persamaan (2.11) dengan (2.16), laju pembakaran untuk bahan bakar dengan temperatur permukaan yang tinggi menjadi

(2.23)

Kedua persamaan terakhir (2.22) dan (2.23) di atas menunjukkan bahwa laju pembakaran bahan bakar dapat meningkat selama pemadaman api, karena pemberian *water spray* meningkatkan konveksi antara flame dengan bahan bakar. Pengaruh pendinginan yang diberikan melalui *water spray* pada saat laju pembakaran pada bahan bakar yang mudah terbakar jumlahnya terbatas, karena heat loss dari permukaan bahan bakar dengan temperatur permukaan yang tinggi, pengaruh pendinginan pada laju pembakaran menjadi signifikan.

B. Pendinginan permukaan

Air yang mencapai permukaan pembakaran akan memanaskan dan menguap, dan akibatnya akan mendinginkan permukaan. Laju pyrolysis permukaan tersebut akan berkurang dan ketika lajunya cukup kecil (panas yang dilepas sekitar $50-70 \text{ kW/m}^2$), nyala api di permukaan tersebut akan hilang. Hal ini juga dapat dijelaskan melalui teori pemadaman termal. Berdasarkan analisa teori dan eksperimen menunjukkan bahwa jumlah air yang dibutuhkan untuk memadamkan kayu yang terbakar karena api (laju pyrolysis $< 5 \text{ g/s.m}^2$) adalah $\sim 2 \text{ g/s.m}^2$. Jika permukaan tersebut juga karena radiasi, maka jumlah air yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur dinding. Sebagian air mengalami penguapan. Tetapi perpindahan panas dari dinding yang panas kepada butiran air merupakan proses kompleks, yang tergantung dari kecepatan tumbukan butiran air saat mengenai dinding, diameter butiran air dan temperatur dindingnya. Oleh karena itu digunakan parameter tak berdimensi bilangan Weber (We), yang menggambarkan kejadian saat tumbukan tadi.

C. Parameter *Water spray* Untuk Pemadaman

Ada enam property spray air yang penting untuk memadamkan api. Sedangkan untuk aplikasi *water spray*, keenam property air tersebut dapat digabung menjadi tiga criteria utama, yaitu : densitas fluks air, cakupan spray dan momentum.

Seperti yang telah ditunjukkan pada persamaan (2.9) dan (2.12), api hanya dapat padam jika jumlah air yang disemprotkan dari alat pemadam cukup untuk mendinginkan flame, atau mendinginkan bahan bakar dibawah titik nyalanya. Untuk bahan yang mudah terbakar yang memiliki temperatur permukaan yang rendah, pemadaman api umumnya terjadi dengan cara pendinginan flame. Jumlah fluks *water spray* kritis yang dibutuhkan () dapat diperoleh dengan menggabungkan persamaan (2.9) dan (2.22) :

(2.24)

Untuk bahan bakar dengan temperatur permukaan yang tinggi, api dapat padam dengan cara pendinginan permukaan dan/atau pendinginan flame. Jumlah fluks *water spray* kritis yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan cara menggabungkan persamaan (2.9) dan (2.24) untuk pendinginan flame (), dan dengan menggabungkan persamaan (2.13) dan (2.24) tersebut untuk pendinginan permukaan bahan bakar (().

(2.25)

(2.26)

Persamaan (2.3) sampai (2.4) menunjukkan bahwa pada permukaan bahan bakar dengan ukuran yang sama, maka dibutuhkan fluks *water spray* yang lebih banyak pada bahan bakar cair yang mudah terbakar untuk memadamkan api dibandingkan dengan api yang disebabkan oleh bahan bakar dengan temperatur permukaan yang tinggi, karena laju pembakarannya tidak terlalu berpengaruh.

Persamaan tersebut juga menunjukkan bahwa karakteristik spray optimum juga perlu dirubah tergantung dari jenis api yang dipadamkan. Untuk bahan bakar cair mudah terbakar, spray dengan *water spray* yang halus mampu memadamkan api elbih baik dari pada dengan *water spray* yang butiran airnya lebih besar, karena semakin kecil butiran airnya, maka butiran air tersebut akan semakin tertahan didalam flame dan mendinginkan flame. Sementara untuk bahan bakar dengan tempertur permukaan yang tinggi, spray dengan ukuran butiran air besar lebih baik digunakan karena mampu mencapai permukaan bahan bakar dan mendinginkan permukaan.

Jumlah air yang dibutuhkan untuk memadamkan api premixed mencapai dua kali lebih banyak dari pada untuk memadamkan api non-premixed. Hal ini karena pada non-premixed flame memiliki heat loss yang lebih besar dari pada premixed flame. Jika ingin menggunakan uap air pada suhu 100°C , maka jumlah air yang dibutuhkan dua kali lebih banyak jika dibandingkan menggunakan butiran air air.

Cakupan *water spray* (A_w) berhubungan dengan distribusi butiran air air dan densitas air yang dipakai. Hal penting lainnya adalah untuk dapat memadamkan api karena flameable liquid fuel, maka flame yang tidak terkena langsung semprotan air tidak akan padam. Flame tersebut akan mudah menyalakan kembali flame ketika *water spray* dihentikan. Sudut efektif untuk cakupan spray ditentukan dengan jumlah terminal fluks air yang dibutuhkan untuk memadamkan api dan dapat dinyatakan dengan :

(2.27)

Sudut spray α , adalah parameter desain nossel dan dapat dirubah menurut tekanan. a_c adalah koefisien untuk cakupan spray yang efektif (<1) dan ditentukan oleh jumlah minimal fluks air yang dibutuhkan dan berubah sesuai dengan property dari setiap bahan bakar.

Criteria ketiga untuk memadamkan api adalah momentum spray. Momentum spray harus cukup besar agar butiran air air dapat memsauki apidan mencapai permukaan fuel. *Water spray* dengan momentum yang rendah akan terbawa pijaran api. Kecepatan maksimum nyala api yang mengarah keatas $U_{f\max}$ adalah :

(2.28)

Diamana adalah laju pelepasan panas secara konvektif dari api.

Untuk alat pemadam *water spray*, jarak penyemprotan antara nossel dengan permukaan fuel relative sangat pendek, dan penguapan butiran air dibatasi sebelum mencapai flame. Kecepatan butiran air air dapat dinyatakan dalam kondisi non-evaporasi :

(2.29)

Dimana kecepatan awal butiran air air (u_{wo}) adalah :

(2.30)

Untuk mencegah *water spray* terbawa pijaran api, maka momentum *water spray* harus paling tidak sama dengan pijaran api, serta memiliki arah yang berlawanan dengan momentum pijaran api:

(2.31)

Atau

(2.32)

Persamaan diatas menunjukkan bahawa penetrasi butiran air air paling utamanya tergantung dari tekanan penyemprotan, ukuran butiran air, jarak penyemprotan, dan ukuran api. Tingkat penetrasi tersebut dapat ditingkatkan baik dengan cara meningkatkan ukuran butiran air, atau mengurangi jarak penyemprotan ke pijaran api dengan cara meningkatkan tekanan semprotan.

BAB III

RANCANGAN ALAT PENGUJIAN

Setiap melakukan penelitian dengan pengujian harus melalui tahapan-tahapan yang ditujukan agar hasil penelitian dan pengujian tersebut sesuai dengan standard yang ada. Caranya adalah dengan menerapkan prosedur yang sama dan konsisten, sehingga didapatkan hasil yang dapat dipercaya dan valid. Dalam melakukan penelitian dan pengujian karakteristik dari *water spray* dibutuhkan beberapa data karakteristik material yang harus dipersiapkan, yaitu property panas dari bahan bakar (solar) dan air, list program yang akan diuji.

3.1 Tahap persiapan

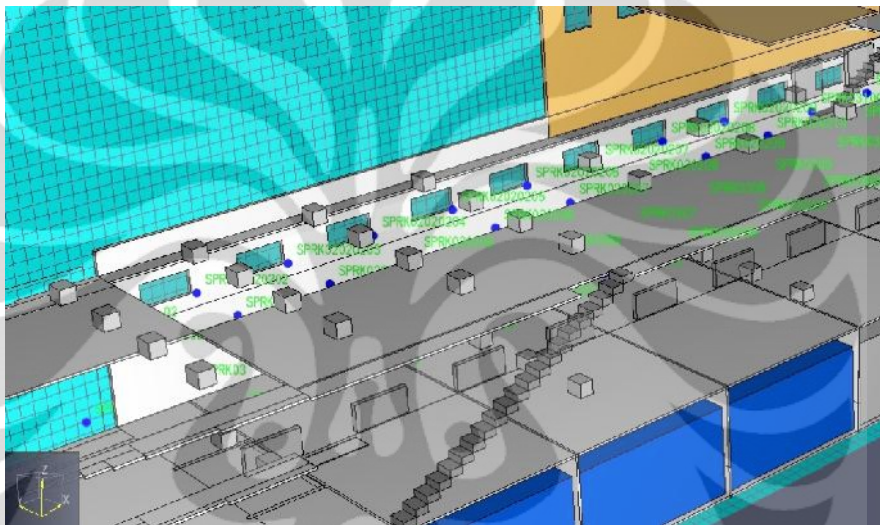
Pada saat akan melakukan penelitian dan pengujian harus terlebih dahulu melakukan persiapan baik teknis maupun non-teknis. Tujuannya agar proses pengambilan data dapat berjalan dengan baik (sesuai dengan standard prosedur yang ada) dan untuk menghindari hal-hal merugikan yang tidak diinginkan.

3.1.1 Pembuatan model ruangan

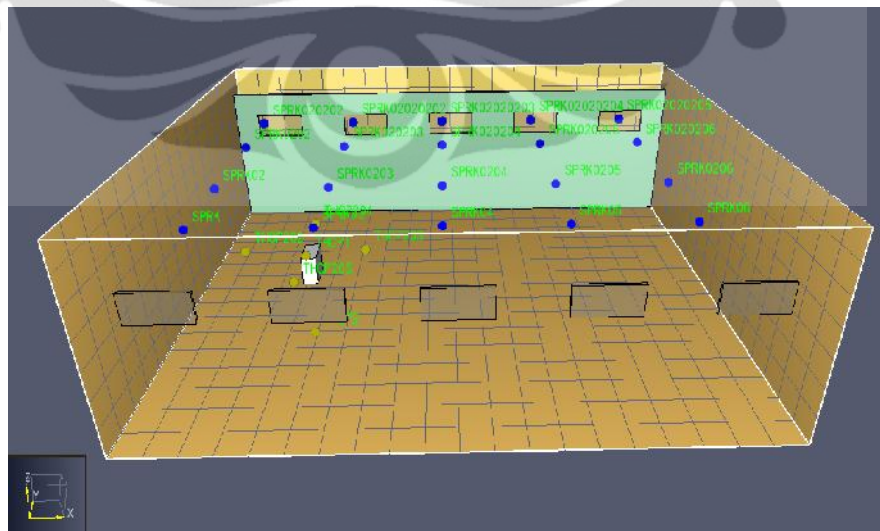
Pembuatan model ruangan membutuhkan waktu yang bervariasi tergantung dari tingkat ketelitian model ruangan itu sendiri. Pada percobaan ini menggunakan model ruangan hanya berupa sebagian compartment pada kapal berukuran 20 x 15 x 6 m langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan ukuran mess. Mess adalah ukuran setiap koordinat jika dibandingkan dengan panjang, lebar dan tinggi dimensi yang telah ditentukan. Semakin kecil perbandingannya maka semakin lama pula proses perhitungan data pada computer.
2. Membuat lantai, dinding serta bukaan-bukaan yang sesuai dengan rancangan yang diinginkan.

1. Pembuatan model tanki, ialah dengan cara membuat suatu bangun tiga dimensi. Setelah itu memberikan property permukaannya sebagai bahan bakar.
2. Memasang beberapa alat ukur suhu.
3. Langkah terakhir ialah memasang nossel-nossel pemadam api pada langit-langit sesuai dengan desain yang diinginkan.



Gambar 3.1 Tampilan sederhana geladak kendaraan pada kapal Ferry



Gambar 3.2 Rancangan area yang akan diteliti sebesar 20 x 15 x 6 m

3.1.2 Spesifikasi Nossel

Agar dapat menghasilkan droplet air dengan ukuran yang memenuhi syarat, maka harus digunakan nossel yang sesuai dengan kebutuhan. Nosel yang dipakai dalam pengujian ini adalah nosel yang telah disetujui oleh SOLAS. Nosel ini dipilih terutama karena telah mendapatkan persetujuan dari SOLAS dan telah memenuhi standar penggunaan material di lingkungan laut.

Berikut ini adalah spesifikasi nossel yang digunakan :

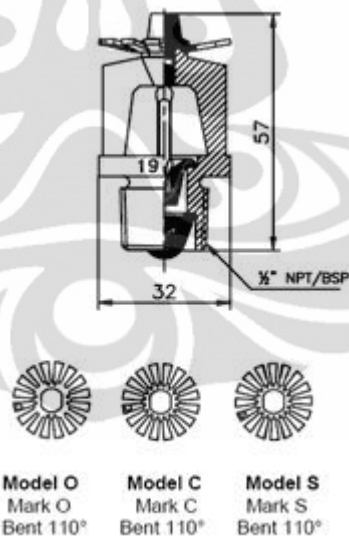
Nama pasaran : ½" BSPT

Material : kuningan

Ukuran drop : $DN_{90} < 300 \mu\text{m}$

Tekanan kerja : 6 – 16 bar

Temperatur	57°C	68°C	79°C	93°C	141°C
colour	orange	merah	kuning	hijau	biru



Gambar 3.3 spesifikasi sprinkler

3.2 Tahap Percobaan dan Pengambilan Data

Dalam penelitian kali ini akan dilakukan percobaan pemadaman api dari tanki bahan bakar cair dengan menggunakan model geladak kendaraan pada program Fire

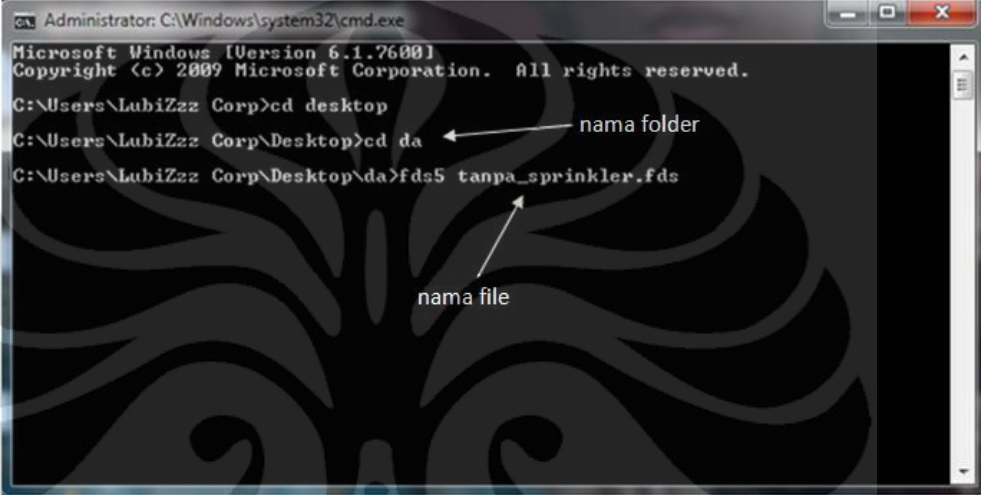
Dynamic Simulator. Percobaan pertama ialah membiarkan tanki terbakar tanpa ada sprinkler, lalu dengan sprinkler dengan variasi jumlah droplet yang berbeda mulai dari 5.000, 10.000 hingga 15.000 droplet per detik. Penelitian ini juga akan mencari keefektifan suatu susunan nosel pada ruangan yang lebih efektif untuk memadamkan api. Variasi yang digunakan yaitu variasi jumlah kepala nosel mulai dari 20, 25, 30 hingga 35 nosel per area yang berukuran 15 m x 20 m dengan debit penyemprotan 46,747 liter per kepala nosel. Pengujian beberapa variasi ini untuk mencari kondisi operasi yang paling optimal untuk alat pemadam yang permanen menempel di langit-langit ruangan. Pengambilan data yang dilakukan yaitu mencari temperature nyala api, waktu pemadaman, dan heat release rate (HRR) untuk tanki bahan bakar tersebut.

3.2.1 Prosedur Pengambilan Data

Proses pengambilan data ini bertujuan untuk mencari lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memadamkan api dari tanki yang terbakar. Secara singkat, Hal-hal yang dilakukan untuk percobaan menggunakan FDS ini ialah dengan mempersiapkan bentuk geometri untuk tanki yang terbakar, lalu menyiapkan macam-macam property material serta mempersiapkan geometri dari ruangan tempat terjadinya kebakaran. Percobaan pertama ialah pengujian untuk lamanya api menyala pada tanki yang terbakar tanpa ada alat pemadam ini menggunakan barisan program dari FDS, Berikut langkah percobaan dalam simulasi kebakaran pada kapal :

1. Siapkan semua peralatan alat uji sesuai dengan rancangan alat uji dan pastikan semua alat dalam kondisi yang baik, lalu membuka notepad pada tampilan windows
2. Mempersiapkan data-data material sesuai dengan format yang dapat dibaca oleh FDS, contohnya panas spesifik dari air, baja dan solar serta hal-hal lain yang diperlukan seperti list program terlampir
3. Untuk beberapa percobaan yang menggunakan ukuran *droplet* yang berbeda dilakukan dengan mengubah jumlah droplet, mulai dari 5000 hingga 20000 droplet per detik.

- Setelah list program tersebut selesai, list tersebut diberi nama yang sesuai dan disimpan pada sebuah folder yang muda diketik ulang. Folder tadi disimpan di tampilan desktop.
- Langkah berikutnya ialah menjalankan command prompt seperti pada gambar berikut :



The image shows a Windows Command Prompt window titled "Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe". The window displays the following commands and their outputs:

```
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\LubiZzz Corp>cd desktop
C:\Users\LubiZzz Corp\Desktop>cd da
C:\Users\LubiZzz Corp\Desktop\da>fds5 tanpa_sprinkler.fds
```

Two arrows point to the commands: one points to "da" in the second command line, labeled "nama folder", and another points to "fds5" in the third command line, labeled "nama file".

Gambar 3.4 Prosedur eksekusi program

- Program yang dibuat tadi akan jalan dan berhenti sesuai setelah mengkalkulasi keadaan yang terjadi pada tempat yang ditentukan dan berhenti sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Setelah program tersebut selesai melakukan perhitungan maka beberapa data akan dapat dihasilkan seperti besarnya api yang terjadi, suhu serta perubahan-perubahannya lalu data-data tersebut disimpan secara langsung pada folder yang telah dibuat untuk melakukan pengolahan data selanjutnya.
- Setelah percobaan pertama selesai maka proses selanjutnya yaitu memodifikasi list program pertama, yaitu dengan mengganti jumlah droplet yang dikeluarkan setiap sprinkler seperti yang telah disebutkan jumlah droplet yang dikeluarkan sprinkler yang akan dicobakan ialah 5000, 10000, 15000. Ialah dengan mensisipkan baris program berikut setelah baris ke-7

8. Setelah proses modifikasi selesai barulah dilakukan percobaan kedua dan seterusnya.
9. Secara keseluruhan proses percobaan kedua dan seterusnya hampir sama dengan langkah percobaan yang pertama.



BAB IV

PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

4.1 Pengolahan Data

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan data mentah berupa perubahan temperatur setiap perubahan waktu pada sumber api yang terukur oleh termokopel pada berbagai tataletak sprinkler serta jumlah butiran air per detik pada model compartement. Dalam pengambilan data terdapat beberapa variasi keadaan compartement yang terbakar. Pada percobaan ini menggunakan variasi jumlah butiran air per detik yaitu 5000, 10000, 15000 dan 20000 butiran air per detik, serta pada setiap variasi tersebut kembali dibuat empat variasi jumlah sprinkler yaitu 20, 25, 30 dan 35 buah.

Untuk mengetahui kemampuan pemadaman api menggunakan system ini terlebih dahulu perlu dilakukan penelitian mengenai karakteristik kebakaran yang terjadi. Pada system ini terdapat beberapa parameter yaitu; temperatur pada pusat nyala api, temperatur lingkungan sekitarnya, laju pelepasan panas dari bahan bakar yang terbakar

4.1.1 Karakteristik Terbakarnya Tanki Bahan Bakar Solar

Terbakarnya tanki bahan bakar berisi solar adalah api yang terbakar secara difusi dari penguapan bahan bakar cair dengan momentum bahan bakarnya yang sangat rendah. Api yang terbakar dari bahan bakar jenis ini sangat sulit dipadamakan dan menimbulkan dampak kerugian yang besar. Nyala api solar termasuk kedalam kelas kebakaran B, dan untuk memadamkannya saat ini banyak digunakan bubuk kimia kering (dry powder). Pemadaman api jenis ini seharusnya tidak dapat menggunakan media air, karena api bukan padam bahkan dapat menyebabkan api menyebar. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa penelitian ini akan mencoba memadamkan jenis nyala api solar ini menggunakan system *water spray*. Sebelum memadamkannya, perlu diketahui juga karakteristik dari Nyala api solar yang akan diuji. Ini sebagai dasar analisis saat pemadaman.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemadaman nyala api model yang dibuat sedemikian rupa agar mempunyai laju pelepasan panas seperti bahan bakar solar. Bahan bakar yang digunakan sebanyak 500 liter. sebelum melakukan pemadaman, dilakukan dahulu perhitungan karakteristik dari model nyala api solar yang akan diuji. Karakteristik itu dapat berupa laju pembakaran bahan bakar, laju produksi kalor teoritis, tinggi nyala api, dan temperatur nyala. Sifat nyala api dari solar tersebut penting untuk menganalisis apa yang terjadi saat usaha pemadaman dilakukan menggunakan *water spray*.

Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi Kalor Solar

Untuk mengetahui pembakaran yang terjadi pada Nyala api solar yang diuji, maka perlu dilakukan perhitungan dan pengujian laju pembakaran bahan bakar dan laju produksi kalornya. Menghitung laju pembakaran diperoleh dengan menggunakan rumus :

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

4.1.2 Laju Pembakaran Bahan Bakar

THERMAL PROPERTIES FOR
BURNING RATE DATA FOR LIQUID HYDROCARBON FUELS

Fuel	Mass Burning Rate \dot{m}'' (kg/m ² -sec)	Heat of Combustion ΔH_{comb} (kJ/kg)	Empirical Constant $k\beta$ (m ⁻¹)
Methanol	0.017	20,000	100
Ethanol	0.015	26,800	100
Butane	0.078	45,700	2.7
Benzene	0.085	40,100	2.7
Hexane	0.074	44,700	1.9
Heptane	0.101	44,600	1.1
Xylene	0.09	40,800	1.4
Acetone	0.041	25,800	1.9
Dioxane	0.018	26,200	5.4
Diethyl Ether	0.085	34,200	0.7
Benzene	0.048	44,700	3.8
Gasoline	0.055	43,700	2.1
Kerosene	0.039	43,200	3.5
Diesel	0.045	44,400	2.1
JP-4	0.051	43,500	3.8
JP-5	0.054	43,000	1.8
Transformer Oil, Hydrocarbon	0.039	46,000	0.7
561 Silicon Transformer Fluid	0.005	28,100	100
Fuel Oil, Heavy	0.035	39,700	1.7
Crude Oil	0.034	42,600	2.8
Lube Oil	0.039	46,000	0.7
User Specified Value	Enter Value	Enter Value	Enter Value

Reference: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, Page 3-26.

Table 1. Data properti panas berbagai bahan bakar

Untuk bahan bakar alcohol nilai \dot{m}''_{ce} dan \dot{m}''_{ce} maka didapatkan nilai dari :

$$\text{Solar : } \dot{m}'' = 0.045 \times (1 - \exp(-2.1 \times 1.11)) = 40 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

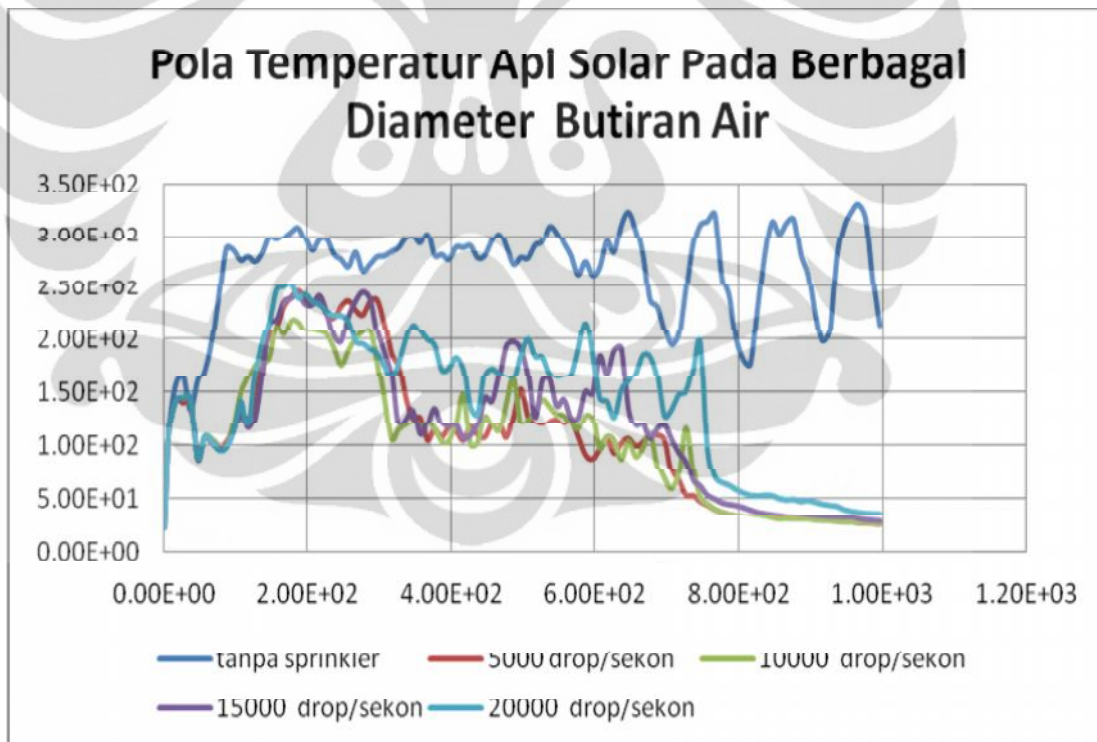
Setelah mendapatkan laju pembakaran, maka dilakukan perhitungan laju produksi kalor (HRR) untuk kedua diameter Nyala api solar tersebut :

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

Maka HRR dari reaksi pembakaran solar tersebut ialah :

$$\dot{Q}_c = 45 \times 10^{-3} \times 44400 \text{ kJ/kg} = 1807 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} = 1807 \text{ kW/m}^2$$

4.1.3 Temperatur Nyala Api Solar



Gambar 4.1 pola perubahan temperatur berbagai diameter butiran air

Hasil pengmabilan data untuk temperatur nyala dari bahan bakar solar terlihat pada grafik diatas. Temperatur nyala api pada saat belum dilakukan pemadaman bisa

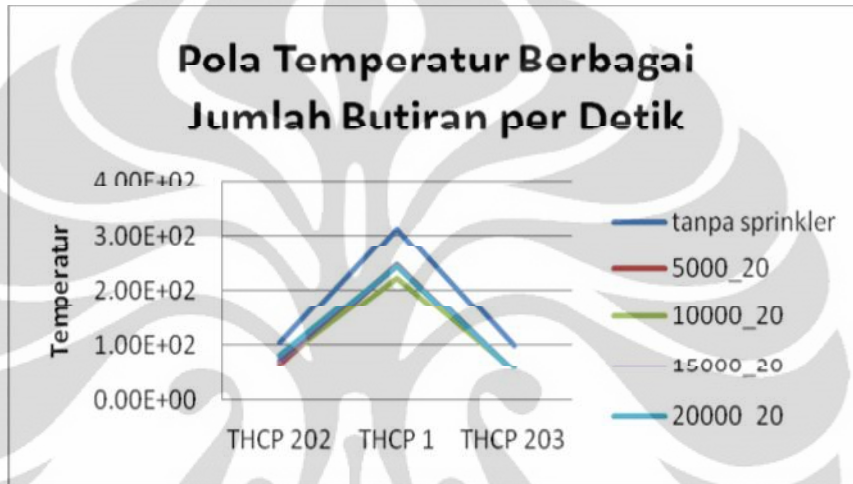
mencapai $\pm 300^{\circ}\text{C}$ dan menurut perhitungan nyala api akan terus berlangsung hingga 2550 detik. Api mulai ada pada detik ke - 0, kemudian temperatur akan langsung naik ke temperatur stabil pada detik ke - 98. Temperatur mengalami kestabilan antara $270-310^{\circ}\text{C}$. Dari grafik temperatur dapat diketahui pola penyalaan nyala api solar pada percobaan tanpa menggunakan sprinkler, peningkatan temperatur terjadi dari temperatur rendah ($<50^{\circ}\text{C}$) ke temperatur tinggi $\pm 300^{\circ}\text{C}$ membutuhkan waktu ± 176 detik. Ini membuktikan bahwa bahan bakar solar menguap secara lambat sejalan dengan peningkatan temperatur. Semakin rendah temperatur api, maka akan menyebabkan percepatan penguapan bahan bakar akan semakin lambat pula, karena peningkatan perpindahan panas yang lambat. 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 Nyala api solar [Drysdale, 1998]. Fluktuasi yang terjadi dikarenakan dinamika api yang terus bergerak, dikarenakan adanya aliran udara (angin) yang menerpa nyala api.

Lalu setelah diberikan pemadam air suhunya dapat dikendalikan dan dapat padam dalam waktu yang jauh lebih singkat terbukti pada grafik 10000 butiran air per detik mempunyai waktu nyala 738 detik dan waktu pemadaman didapatkan dari pengurangan waktu padam dengan waktu saat sprinkler mulai bekerja yaitu sebesar 732 detik. Pada grafik 15000 dan 20000 butiran air per detik terlihat mempunyai keefektifan pemadaman yang kurang baik jika dibandingkan dengan 5000 dan 10000 butiran air per detik, hal itu dikarenakan ukuran butiran air yang terlalu kecil sehingga momentum butiran air tidak sebanding dengan aliran konveksi yang disebabkan oleh nyala api.

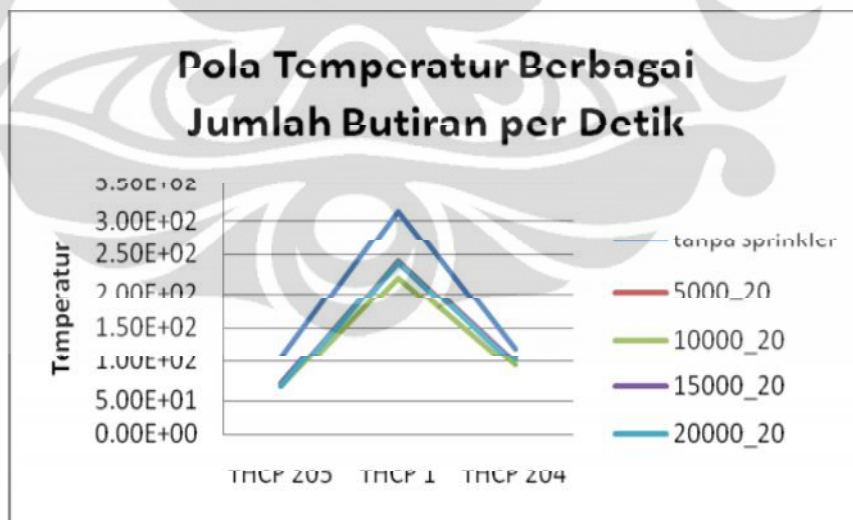
Perbandingan temperatur nyala api berbagai ukuran butiran air pada beberapa titik di sekitar sumber api

Dalam penelitian kali ini akan dicoba pemadaman dari api berbahan bakar liquid. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah solar, penggunaan bahan bakar solar ditujukan untuk memastikan pemadaman dengan menggunakan water mist yang dilakukan dapat mendekati keadaan sebenarnya saat pemadaman

nyala api setelah itu, digunakan bahan bakar solar untuk melihat karakteristik pemadaman serta perubahan temperaturnya. Dalam pemadaman ini akan dipakai empat variasi ukuran butiran air seperti yang telah disebutkan sebelumnya dengan tekanan percobaan 9.68 bar, tata letak nossel seperti yang digambarkan pada bab sebelumnya untuk jumlah kepala nossel sebanyak 20 buah, ketinggian 5.5 m dari lantai.



(a)



(b)

Gambar 4.2 (a) perubahan pengukuran temperatur pada arah memanjang, (b) perubahan pengukuran pada arah melintang

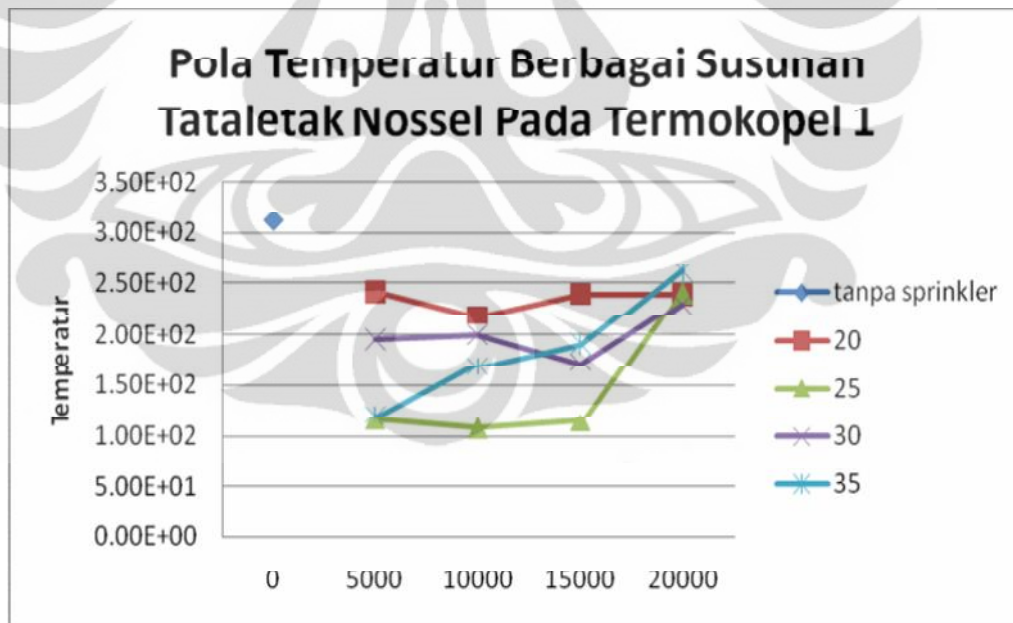
Grafik diatas menyajikan temperatur nyala Nyala api solar pada waktu dimana temperatur yang terukur pada termokopel 1 menunjukkan nilai tertinggi yaitu sekitar

311°C pada detik ke - 183 keadaannya yaitu api dibiarkan menyala tanpa ada alat pemadam, lalu dipasangan alat pemadam dengan karakteristik semburan sebesar 5000, 10000, 15000, 20000 butiran air per detik. Temperatur tersebut diambil pada ketinggian yang sama dengan bahan bakar. Terlihat bahwa temperatur nyala api solar pada pusat api (termokopel 1) lebih tinggi jika dibandingkan dengan keempat titik di sekitarnya yang berjarak masing-masing 2 m dari sumber api. Dan pada laju seburan air 10000 butiran air per detiklah alat pemadam bekerja dengan optimal menurunkan suhu disekitar terjadinya nyala api, yang terukur pada termokopel 204 sebesar 24% hal ini sesuai dengan analisa sebelumnya yang menyebutkan bahwa jumlah butiran air tersebutlah yang efektif mencapai sumber api.

4.2 Analisa Data

4.2.1 Analisa Pemadaman Bahan Bakar Solar Dengan Variabel Jumlah Nossel

Pada percobaan berikut ini akan dilakukan pengujian terhadap keefektifan tataletak nossel yang telah ada dalam memadamkan api.



Grafik 4.3 perubahan tempertur yang terukur pada setiap perubahan diameter butiran air dan layout sprinkler.

Percobaan pertama yang dilakukan ialah menempatkan nossel pada tempatnya seperti yang telah ada sebelumnya yaitu 20 buah, lalu untuk membuat variasi ditambahkan beberapa nossel pada ruangan 20 x 15 m tersebut yaitu penambahan 5 buah setiap

variasi. Sehingga pada masing-masing variasi terdapat 25, 30 dan 35 buah nosel pada ruangan yang telah disebutkan.



Dari grafik diatas terlihat bahwa tataletak nosel yang memiliki keefektifan paling tinggi ialah layout ruangan yang memiliki nosel sebanyak 25 buah yang mampu menurunkan temperatur bahan bakar dari suhu 311°C hingga berada pada temperatur minimal yaitu pada jumlah butiran air 10000 butiran air per detik dengan temperatur 107°C hal ini berarti temperatur turun 65%. Lalu pada saat diameter butirannya semakin dikurangi, kemampuan penetrasinya semakin berkurang. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada saat jumlah butiran mencapai 20000 butiran/detik suhu permukaan bahan bakar semakin tidak terkendali bahkan suhunya diatas titik nyala dari bahan tersebut. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa momentum yang dimiliki oleh butiran air tidak mampu mengimbangi aliran udara panas dari pembakaran bahan bakar. Dari grafik juga didapatkan hasil bahwa penambahan jumlah kepala nosel belum tentu dapat langsung mengendalikan kebakaran yang terjadi.

Analisa Visual Nyala Api Pemadaman Bahan Bakar Solar

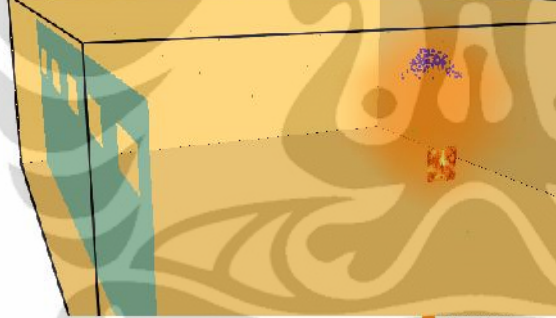
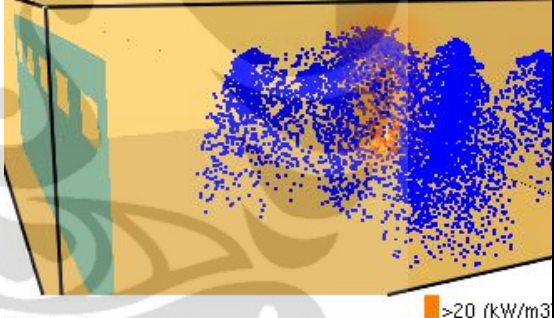
Karakteristik mengenai Nyala api solar telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Pemadaman dilakukan dengan tekanan 9.68 bar, ketinggian 5.5 m dari lantai. Pengamatan dilakukan terhadap temperatur nyala api yang dihasilkan sebelum *water spray* dinyalakan dan setelah *water spray* dinyalakan. Oleh karena itu akan ditempatkan 5 buah termokopel serta akan dihasilkan file video simulasi computer untuk melihat pergerakan temperatur serta nyala api saat api dikenai *water spray* dan saat pemadaman terjadi. Termokopel tersebut diletakkan pada sumber api, serta pada bidang datar yang berjarak 2 m. Pemadaman akan dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi nosel dengan jumlah butiran air 10000 butiran air per detik dikarenakan pada saat pengujian pemadaman dilihat pemadaman dengan jumlah butiran air tersebut paling optimal dilihat dari segi jumlah *water spray* yang mengarah kearah pemadaman. Penggunaan variasi tataletak nosel ini bertujuan untuk “mengurung” nyala api sehingga menimbulkan efek pendinginan dan mengurangi udara yang masuk kedalam daerah Nyala api solar. Berikut adalah hasil

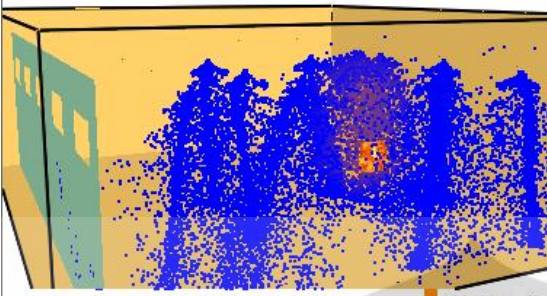
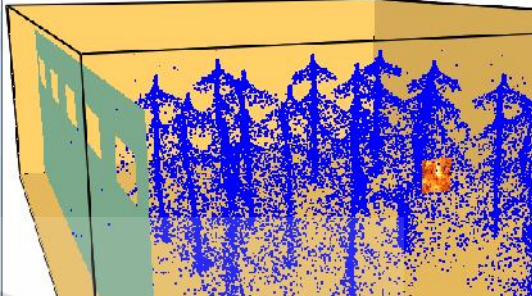
rekam visual nyala api solar tanpa system pemadam dan dengan system pemadam pada ruang berukuran 20 x 15 m.

Tanpa Alat Pemadam

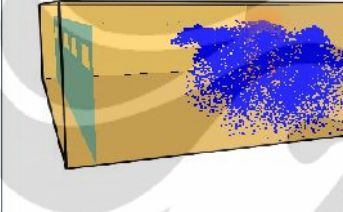
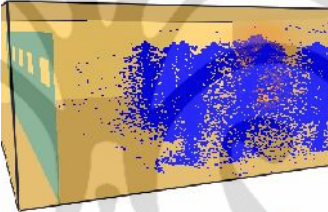
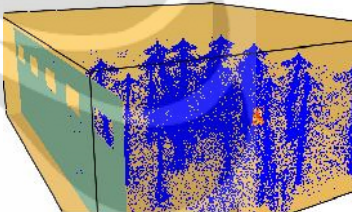
 <p>Frame: 0 Time: 0.0</p> <p>>20 (kW/m3)</p>	 <p>Frame: 184 Time: 184.0</p> <p>>20 (kW/m3)</p>
Keadaan ruangan sebelum bahan bakar terbakar	Menunjukkan tangki bahan bakar yang terbakar

Dengan Alat Pemadam 10000 Butir per Detik Dengan 20 Kepala Nossel

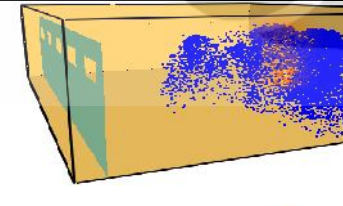
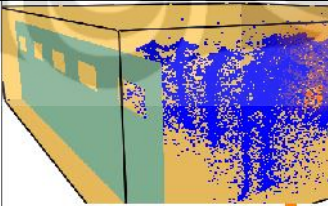
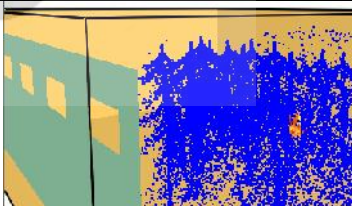
 <p>Frame: 4 Time: 4.0</p> <p>>20 (kW/m3)</p>	 <p>Frame: 12 Time: 7.1</p> <p>>20 (kW/m3)</p>
Sprinkler mulai aktif pada detik ke-4	Air yang dikeluarkan sprinkler mulai mengembang penuh

 <p>Frame: 298 Time: 182.1</p> <p>>20 (kW/m³)</p>	 <p>Frame: 725 Time: 738.0</p> <p>>20 (kW/m³)</p>
<p>Keadaan pengukuran temperatur</p>	<p>Api padam pada detik ke-738</p>

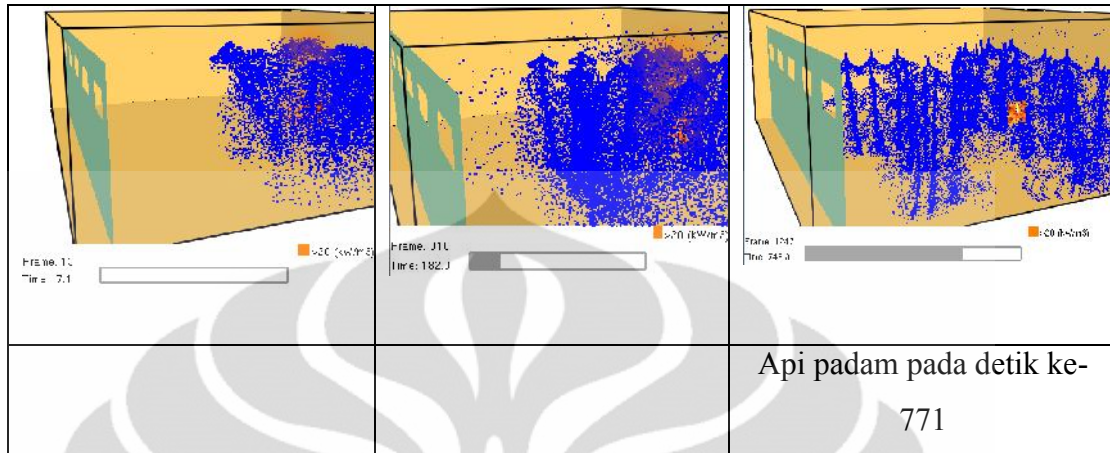
Dengan Alat Pemadam 10000 Butir per Detik Dengan 25 Kepala Nossel

 <p>Frame: 12 Time: 7.1</p> <p>>20 (kW/m³)</p>	 <p>Frame: 787 Time: 107.1</p> <p>>20 (kW/m³)</p>	 <p>Frame: 115 Time: 738.0</p> <p>>20 (kW/m³)</p>
<p>Sprinkler telah aktif</p>		<p>Api padam pada detik ke-703</p>

Dengan Alat Pemadam 10000 Butir per Detik Dengan 30 Kepala Nossel

 <p>Frame: 12 Time: 7.1</p> <p>>20 (kW/m³)</p>	 <p>Frame: 301 Time: 78.0</p> <p>>20 (kW/m³)</p>	 <p>Frame: 1373 Time: 771.0</p> <p>>20 (kW/m³)</p>
		<p>Api padam pada detik ke-749</p>

Dengan Alat Pemadam 10000 Butir per Detik Dengan 35 Kepala Nossel



Gambar 4.3 berbagai keadaan pemadaman yang terjadi dengan perubahan layout sprinkler

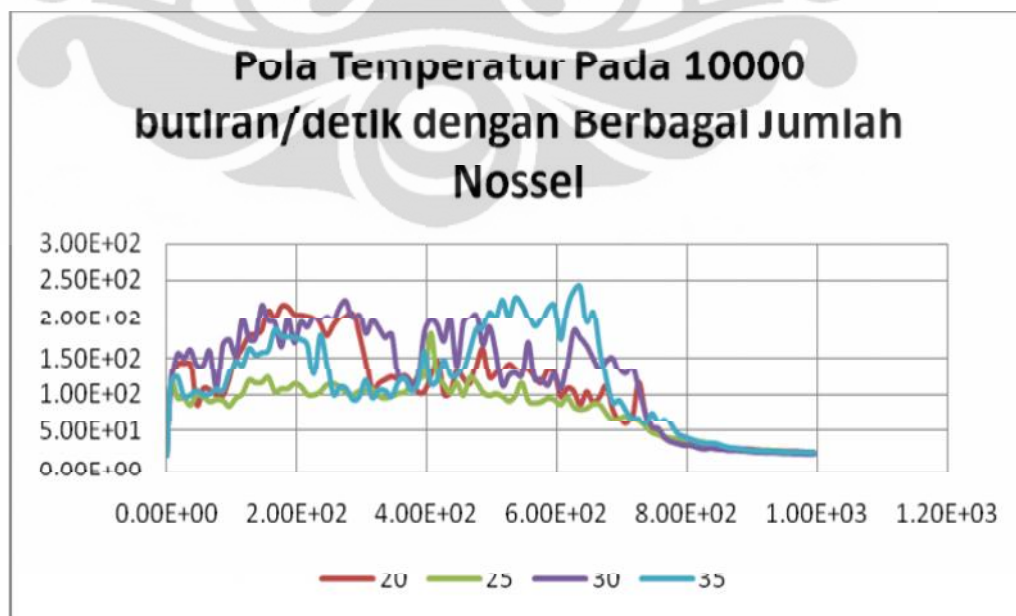
Pada gambar diatas menunjukkan hasil rekam visual proses pembakaran serta pemadaman api berbahan bakar solar dengan menggunakan berbagai variasi. Proses yang ditampilkan ini adalah tanki dengan dimensi 1 x 1 x 0.5 m. Gambar tersebut menjelaskan urutan terjadinya mekanisme pemadaman dimulai dari penyalaan bahan bakar pada detik ke-0 untuk lalu temperatur sekitarnya meningkat hingga pada waktu 4 detik temperatu di langit-langit mencapai suhu 68°C yang menjadi syarat aktifnya nossel yang telah terpasang.

Semua percobaan pemadaman nossel mulai aktif pada detik ke-4, terlihat cakupan spray mulai tampak dan mengembang sempurna pada detik ke-7 mulai terjadi interaksi antara api dengan *water spray*. Saat *water spray* tersebut mengenai permukaan bahan bakar, api yang ada disekitar daerah tersebut menjadi tidak stabil sehingga terjadi pembesaran api secara tiba-tiba. Secara tidak langsung pembesaran tersebut dikarenakan bahan bakar yang tidak terbakar yang menguap jauh diatas permukaan solar itu terbakar. Pada tahapan ini perpindahan panas secara konveksi dan radiasi terjadi, fenomena yang terjadi antar interaksi api dengan *water spray* yaitu bentuk lidah api cenderung mengecil dan tidak stabil dan mengarah ke bagian tengah akibat dari dorongan momentum *water spray* yang dihasilkan oleh nossel dari bagian atas sumber api, setelah itu nyala api semakin kecil akibat *water spray* semakin

dominan menutup permukaan nyala api sehingga mengurangi udara atau oksigen yang dibutuhkan pada reaksi pembakaran menyebabkan api padam. Lama waktu pemadaman untuk jumlah nossel 25 buah cenderung paling cepat yaitu 699 detik. Untuk jumlah nossel lain tahap persiapan sampai sampai dengan penyalaan system water mist sesuai dengan pemadaman dengan jumlah nossel 25 buah, hanya yang berbeda hanya pada saat penempatam nossel tamabahan. interaksi yang terjadi anantara *water spray* dengan api pada saat disemprotkan terjadi pembesaran mendadak, kemudian *water spray* mulai melakukan penetrasi mendorong nyala api dari sisi atas sehingga bentuk nyala api berubah bentuk akibat *water spray* menyelimuti nyala api sehingga udara serta kandungan oksigen yang masuk kedalam nyala api semakin berkurang dan menyebabkan api padam.

4.2.2 Analisa Penurunan Temperatur Terhadap Perubahan Waktu

Pada percobaan berikut ini data yang akan dianalisa ialah pola perubahan temperature bahan bakar setelah adanya pemadaman dengan variasi jumlah dan tata letak nossel. Data yang diperhitungkan pada percobaan ini ialah rata-rata temperature yang terbaca pada termokopel 1 untuk setiap variasi percobaan dimulai dari nossel mulai aktif hingga api dari bahan bakar tersebut padam.



Grafik 4.4 Pola perubahan tempertur pada berbagai perbedaan layout sprinkler

Pada grafik diatas terlihat bahwa keadaan temperatur saat pemadaman dilakukan dengan alat pemadam yang ada sekarang terlihat masih belum efektif dalam hal pengendalian temperatur pembakaran. Dan setelah ditambah satu baris nosel pada bagian tengah ruangan terlihat perubahan yang sangat signifikan dengan rata-rata temperatur yang terukur oleh termokopel 1 pada bahan bakar $\pm 99^{\circ}\text{C}$. Namun jika diberikan tambahan nosel temperatur bahan bakar menjadi semakin tinggi yaitu pada saat jumlah nosel 30 buah rata-rata temperatur bahan bakarnya ialah $\pm 159^{\circ}\text{C}$ dan saat jumlah nosel ditambah lagi menjadi 35 buah rata-rata temperaturnya memang turun menjadi $\pm 141^{\circ}\text{C}$. Akan tetapi rata temperatur tersebut masih jauh diatas temperatur rata-rata yang dicapai pada saat percobaan dengan menggunakan 25 buah nosel.

Pada grafik diatas terlihat bahwa suhu ruang sebelum pengujian ini berkisar $\pm 20^{\circ}\text{C}$ kemudian pada hitungan detik ke-0 solar terbakar. Setelah itu nyala api mulai berkembang penuh kemudian pada detik pada detik ke-4 berikutnya watermist dinyalakan. Pada keadaan ini terlihat bahwa temperatur disekitar bahan bakar mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hal itu terjadi karena adanya air langsung mengenai bahan bakar maka laju pembakaran semakin meningkat. Saat *water spray* tersebut mengenai permukaan bahan bakar, api yang ada disekitar daerah tersebut menjadi tidak stabil sehingga terjadi pembesaran api secara tiba-tiba. Peristiwa tersebut juga memiliki dampak pengurangan jumlah kalor yang terkandung dalam solar dengan cepat. Jadi tidak menggunakan *water spray* ini maka api solar akan menyala lebih lama karena api masih berkembang dan energi yang terbakar konstan (Fuel-control burning), namun jika dengan menggunakan *water spray* maka waktu pemadaman semakin cepat namun bahaya yang timbul akibat dari pembesaran temperatur secara mendadak dapat membahayakan. Efek pembakaran yang tidak terkontrol akan mempercepat flashover sehingga api mulai mengalami penurunan temperatur sampai akhirnya padam. Setelah itu api dapat dipadamkan dengan penurunan temperatur secara teratur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Semakin kecil diameter butiran air yang keluar dari sprinkler akan semakin efektif dalam penyerapan panas api yang terjadi, namun ada kalanya momentum yang dimiliki oleh butiran air tersebut tidak dapat melawan arus konveksi pembakaran. Akibatnya ialah air tidak dapat melakukan penetrasi pada bahan bakar yang terbakar.
2. Temperatur bahan bakar dan ruangan dapat lebih terkendali jika diameter butiran air yang keluar dari sprinkler dikurangi hingga nilai optimumnya yaitu sebesar 246 μm . Yang dapat menurunkan suhu lingkungan sekitar 24 %
3. Penambahan jumlah sprinkler juga mempunyai peran yang baik untuk mempercepat laju pemadaman api dan terbukti bahwa pada ruangan yang diberikan penambahan satu baris sprinkler pada bagian tengah memiliki waktu pemadaman yang lebih cepat rancangan ini merupakan keadaan yang optimum karena temperatur bahan bakar juga cenderung stabil dengan rata-rata temperatur $< 100^{\circ}\text{C}$

5.2 Saran

Dari percobaan ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Percobaan dengan menggunakan simulasi computer tidak memberikan hasil yang akurat sama dengan keadaan actual, namun hanya menunjukkan kecenderungan yang sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.
2. Perlu dilakukan penelitian dan penelitian lebih lanjut terhadap pengujian yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

LAMPIRAN 1

1. Percobaan ruangan yang terbakar tanpa menggunakan alat pemadam

tanpa_sprinkler.fds

May 30, 2011 4:49:25 PM

&HEAD CHID='tanpa_sprinkler'/

&TIME T_END=1.0000000E003/

&DUMP RENDER_FILE='tanpa_sprinkler.gel', DT_RESTART=300.00/

&MESH ID='MESH', IJK=20,17,7, XB=0.00,20.00,0.00,17.00,0.00,7.00/

&DEVC ID='THCP1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.00,5.50,3.40/

&DEVC ID='THCP2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.00,5.50,0.3000/

&DEVC ID='THCP202', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.00,5.50,3.60/

&DEVC ID='THCP203', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=7.00,5.50,3.60/

&DEVC ID='THCP204', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.00,7.50,3.60/

&DEVC ID='THCP205', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.00,3.50,3.60/

&MATL ID='STEEL',

FYI='Drysedale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',

SPECIFIC_HEAT=0.4600,

CONDUCTIVITY=45.80,

DENSITY=7.8500000E003,

EMISSIVITY=0.95/

&MATL ID='solar02',

SPECIFIC_HEAT=0.63,

CONDUCTIVITY=0.1000,

DENSITY=918.00,

HEAT_OF_COMBUSTION=4.4400000E004,

HEAT_OF_REACTION=1.05,

lanjutan

BOILING_TEMPERATURE=155.00/

&SURF ID='dinding',

RGB=146,202,166,

MATL_ID(1,1)='STEEL',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=0.0500/

&SURF ID='bahan bakar02',

COLOR='GRAY 80',

TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',

MLRPUA=0.0440,

BURN_AWAY=.TRUE.,

MATL_ID(1,1)='solar02',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=1.00/

&OBST XB=0.00,20.00,0.75,0.85,0.00,6.00, COLOR='INVISIBLE',

SURF_ID='dinding'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,20.00,16.15,16.25,0.00,6.00, SURF_ID='dinding'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,20.00,0.85,16.15,5.90,6.00, COLOR='INVISIBLE',

SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=4.80,5.30,5.50,6.50,2.30,3.30, SURF_ID='bahan bakar02'/ Obstruction

&HOLE XB=1.0000000E000,3.0000000E000,7.5000000E-001,8.5000000E-001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole

&HOLE XB=5.0000000E000,7.0000000E000,7.5000000E-001,8.5000000E-001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[1]

&HOLE XB=9.0000000E000,1.1000000E001,7.5000000E-001,8.5000000E-001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[2]

lanjutan

&HOLE XB=1.3000000E001,1.5000000E001,7.5000000E-001,8.5000000E-001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[3]

&HOLE XB=1.7000000E001,1.9000000E001,7.5000000E-001,8.5000000E-001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[4]

&HOLE

XB=1.0000000E000,3.0000000E000,1.6150000E001,1.6250000E001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[1]

&HOLE

XB=5.0000000E000,7.0000000E000,1.6150000E001,1.6250000E001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[1][1]

&HOLE

XB=9.0000000E000,1.1000000E001,1.6150000E001,1.6250000E001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[2][1]

&HOLE

XB=1.3000000E001,1.5000000E001,1.6150000E001,1.6250000E001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[3][1]

&HOLE

XB=1.7000000E001,1.9000000E001,1.6150000E001,1.6250000E001,4.0000000E000,5.0000000E000/ Hole[4][1]

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.3000/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=3.40/

&TAIL /

2. List program yang perlu disiapkan pada ruangan yang terbakar dengan menggunakan alat pemadam

&PART ID='Water',

WATER=.TRUE.,

AGE=60.00,

SPECIFIC_HEAT=4.18,

MELTING_TEMPERATURE=0.00,

VAPORIZATION_TEMPERATURE=100.00,

HEAT_OF_VAPORIZATION=2.2590000E003/

&PROP ID='Water Spray',

PART_ID='Water',

DROPLETS_PER_SECOND=5000,

FLOW_RATE=46.75,

DROPLET_VELOCITY=5.00/

&DEVC ID='SPRK', PROP_ID='Water Spray', XYZ=2.00,3.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Water Spray', XYZ=2.00,6.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK0202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=2.00,10.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK020202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=2.00,13.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK02020202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=5.80,13.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK02020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=9.60,13.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK02020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=13.40,13.40,5.50,

QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

lanjutan

&DEVC ID='SPRK020205', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.20,13.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=5.80,10.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=9.60,10.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK020205', PROP_ID='Water Spray', XYZ=13.40,10.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK020206', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.20,10.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK0203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=5.80,6.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK0204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=9.60,6.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK0205', PROP_ID='Water Spray', XYZ=13.40,6.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK0206', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.20,6.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK03', PROP_ID='Water Spray', XYZ=5.80,3.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK04', PROP_ID='Water Spray', XYZ=9.60,3.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK05', PROP_ID='Water Spray', XYZ=13.40,3.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

&DEVC ID='SPRK06', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.20,3.40,5.50,
QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=68.00/

LAMPIRAN 2

Tabel hasil percobaan

FDS TIME	THCP 202	THCP 1	THCP 203	THCP 205	THCP 1	THCP 204	THCP 2
1.83E+02 tanpa sprinkler	1.05E+02	3.11E+02	1.00E+02	1.13E+02	3.11E+02	1.24E+02	8.44E+01
jumlah nossel							
5000_20	6.67E+01	2.42E+02	5.39E+01	6.89E+01	2.42E+02	1.06E+02	5.70E+01
5000_25	5.60E+01	1.15E+02	5.35E+01	6.04E+01	1.15E+02	1.16E+02	4.72E+01
5000_30	5.89E+01	1.95E+02	5.07E+01	5.92E+01	1.95E+02	9.29E+01	6.27E+01
5000_35	5.46E+01	1.21E+02	4.92E+01	5.47E+01	1.21E+02	1.28E+02	5.66E+01
10000_20	7.26E+01	2.20E+02	5.64E+01	6.75E+01	2.20E+02	9.36E+01	6.05E+01
10000_25	5.82E+01	1.07E+02	5.07E+01	6.06E+01	1.07E+02	1.34E+02	4.35E+01
10000_30	6.19E+01	2.00E+02	5.25E+01	5.90E+01	2.00E+02	1.04E+02	6.01E+01
10000_35	6.30E+01	1.69E+02	4.87E+01	5.42E+01	1.69E+02	1.05E+02	6.03E+01
15000_20	7.34E+01	2.40E+02	5.41E+01	7.12E+01	2.40E+02	1.06E+02	5.77E+01
15000_25	5.54E+01	1.14E+02	5.29E+01	6.10E+01	1.14E+02	1.20E+02	4.67E+01
15000_30	5.87E+01	1.72E+02	5.38E+01	5.75E+01	1.72E+02	1.09E+02	5.74E+01
15000_35	6.96E+01	1.91E+02	5.18E+01	5.76E+01	1.91E+02	1.09E+02	5.90E+01
20000_20	8.16E+01	2.40E+02	5.48E+01	6.86E+01	2.40E+02	1.02E+02	5.87E+01
20000_25	8.29E+01	2.41E+02	5.75E+01	6.33E+01	2.41E+02	1.05E+02	6.19E+01
20000_30	6.84E+01	2.31E+02	5.53E+01	6.32E+01	2.31E+02	9.14E+01	6.34E+01
20000_35	8.47E+01	2.61E+02	5.48E+01	6.92E+01	2.61E+02	9.09E+01	5.61E+01

FDS TIME	HRR(kw)	RAD_LOSS(kw)	CONV_LOSS(kw)	COND_LOSS(kw)	BURN_RATE(kg/s)	ZONE_01(atm)
1.83E+02	tanpa srinkler	2.10E+03	7.77E+02	-7.91E+00	1.83E+03	9.37E-02
	5000_20	2.05E+03	5.46E+02	-1.83E+00	8.31E+02	9.37E-02
	5000_25	2.00E+03	5.47E+02	1.53E+00	7.79E+02	9.37E-02
	5000_30	2.00E+03	5.30E+02	1.23E+01	7.34E+02	9.37E-02
	5000_35	2.04E+03	5.07E+02	3.05E+00	7.18E+02	9.37E-02
	10000_20	2.04E+03	5.40E+02	2.52E+00	8.54E+02	9.37E-02
	10000_25	1.99E+03	5.60E+02	-1.41E+00	7.65E+02	9.37E-02
	10000_30	1.89E+03	5.06E+02	-9.13E+00	7.01E+02	9.37E-02
	10000_35	2.06E+03	5.40E+02	-3.97E-01	7.00E+02	9.37E-02
	15000_20	2.04E+03	5.35E+02	-2.76E+00	8.32E+02	9.37E-02
	15000_25	2.03E+03	5.62E+02	2.15E+00	7.74E+02	9.37E-02
	15000_30	2.02E+03	5.52E+02	-1.41E+00	7.53E+02	9.37E-02
	15000_35	2.08E+03	5.53E+02	9.37E+00	7.93E+02	9.37E-02
	20000_20	2.05E+03	5.44E+02	3.19E+00	9.28E+02	9.37E-02
	20000_25	2.05E+03	5.29E+02	1.21E+00	9.56E+02	9.37E-02
	20000_30	2.03E+03	5.27E+02	7.19E-01	9.71E+02	9.37E-02
	20000_35	2.04E+03	5.60E+02	-4.23E+00	9.79E+02	9.37E-02