

**PENGARUH DIAMETER DROPLET AIR TERHADAP
PROSES PEMADAMAN API TIPE *PREMIXED FLAME***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

M.WINDANARKO SIAMULLAH

NIM. 0810623059-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH DIAMETER DROPLET AIR TERHADAP
PROSES PEMADAMAN API TIPE *PREMIXED FLAME***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
M.WINDANARKO SIAMULLAH
NIM. 0810623059-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng.Mega Nur Sasongko, ST., MT
NIP. 19740930 200012 1 001

Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT
NIP. 19750702 200003 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH DIAMETER DROPLET AIR TERHADAP PROSES
PEMADAMAN API TIPE *PREMIXED FLAME***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**M.WINDANARKO SIAMULLAH
NIM. 0810623059-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 29 Januari 2013

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Djoko Sutikno. M.Eng
NIP. 19541009 198303 1 002**

**Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005**

Komprehensif

**Ir. Tjuk Oerbandono. MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002**

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Diameter Droplet Air Terhadap Proses Pemadaman Api Tipe *Premixed Flame*”.

Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Mega Nur Sasongko, ST., MT., Dr.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan serta ilmu yang bermanfaat pada awal penyusunan skripsi hingga akhir.
4. Ibu Lilis Yuliati, ST., MT., Dr.Eng., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan masukan, dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya sehingga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Januari 2013

Penulis

LEMABAR PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillahirabbil ‘Aalamiin segala puja dan puji bagi Allah SWT. atas segala nikmat serta limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW. beserta keluarga dan para sahabatnya. Dengan terselesaikannya Skripsi ini, penulis persembahkan untuk kedua orang tua penulis, Ayahanda Gumisanto dan Ibunda Hindun yang telah ikhlas mendo’akan, mengorbankan tenaga, dan pikiran, serta hartanya untuk mengasuh, mendidik, memberi dukungan, dan nasehat pada penulis demi kebahagiaan dan kesuksesan penulis.

Penulis persembahkan pula untuk keluarga besar penulis ,atas doa dan dukungannya dalam penyelesaian penulisan skripsi ini semoga Allah SWT menimpahkan rahmat dan anugrahnya.

Penulis persembahkan pula untuk Dani pramudyo dan Rasif Zulfikar atas kerja timnya dalam penelitian ini dan sebagai teman diskusi untuk penyelesaian penulisan skripsi ini.

Penulis persembahkan pula untuk teman-teman Divisi Otomotif khususnya angkatan 2008 dan teman-teman asisten moka atas semangat dan saran-sarannya serta canda tawanya untuk menghibur penulis sehingga penulisan skripsi ini lebih mudah untuk diselesaikan.

Penulis pun persembahkan untuk Cirairina Rizkyani atas doa, semangat dan kesabarannya sehingga penulis dapat lebih semangat untuk mengerjakan skripsi.

Dan penulis persembahkan juga teman-teman M’08 sebagai teman angkatan penulis, apabila penulis mengalami kesusahan dapat langsung dibantu sehingga mempermudah untuk mengerjakan penulisan skripsi.

“Kinerja seseorang tidak bergantung pada jenis kelamin dan orientasi seksualnya, tapi bergantung pada kemampuan berfikir dan menganalisa masalah. Jadi jangan ragu untuk menjadi siapapun yang kalian mau, karena kalian terlahir cantik dan luar biasa.”

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| KATA PENGANTAR | i |
| LEMBAR PERSEMBAHAN | ii |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN | viii |
| RINGKASAN | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya | 4 |
| 2.2 Pembakaran | 5 |
| 2.2.1 Pembakaran <i>premixed</i> | 6 |
| 2.2.2 Rasio Udara dan Bahan Bakar (<i>air-fuel ratio</i>) | 7 |
| 2.2.3 <i>Equivalence Ratio</i> | 8 |
| 2.3 Pemadaman Api | 9 |
| 2.3.1 Segitiga Api | 9 |
| 2.3.2 Mekanisme Pemadaman Api | 10 |
| 2.4 Evaporasi Air | 12 |
| 2.5 <i>Twin Fluid Atomizer</i> | 14 |
| 2.6 Diameter Rata-Rata | 16 |
| 2.7 Hipotesa | 17 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 18 |
| 3.1 Metode Penelitian | 18 |
| 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian | 18 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 18 |
| 3.4 Peralatan Penelitian | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5 Skema Instalasi Penelitian | 22 |
| 3.6 Prosedur Penelitian..... | 23 |
| 3.6.1 Prosedur Pengambilan Data Droplet Air..... | 23 |
| 3.6.2 Prosedur Pengambilan Data Massa Alir Bahan Bakar Pada Saat Padam | 24 |
| 3.6.3 Prosedur Pengambilan Data Tinggi Api..... | 25 |
| 3.7 Diagram Alur Penelitian | 27 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 29 |
| 4.1 Hasil Pengukuran dan Perhitungan Data..... | 29 |
| 4.1.1 Pengolahan Data Ukuran Droplet Air | 29 |
| 4.1.2 Data dan Perhitungan Tinggi Api..... | 36 |
| 4.1.3 Data dan Perhitungan Massa Alir Bahan Bakar Pada Saat Padam | 41 |
| 4.2 Pembahasan..... | 44 |
| 4.2.1 Hubungan Ukuran Diameter Droplet Air terhadap Perbandingan Antara Tinggi Api dengan Menggunakan Droplet Air / Tinggi Api Tanpa Menggunakan Droplet Air | 44 |
| 4.3.2 Hubungan Ukuran Diameter Droplet Air terhadap Perbandingan Massa Alir Bahan Bakar Pada Saat Padam dengan Menggunakan droplet air / Massa Alir Bahan Bakar Pada Saat Padam tanpa Menggunakan droplet Air..... | 47 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 49 |
| 5.1 Kesimpulan | 49 |
| 5.2 Saran | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

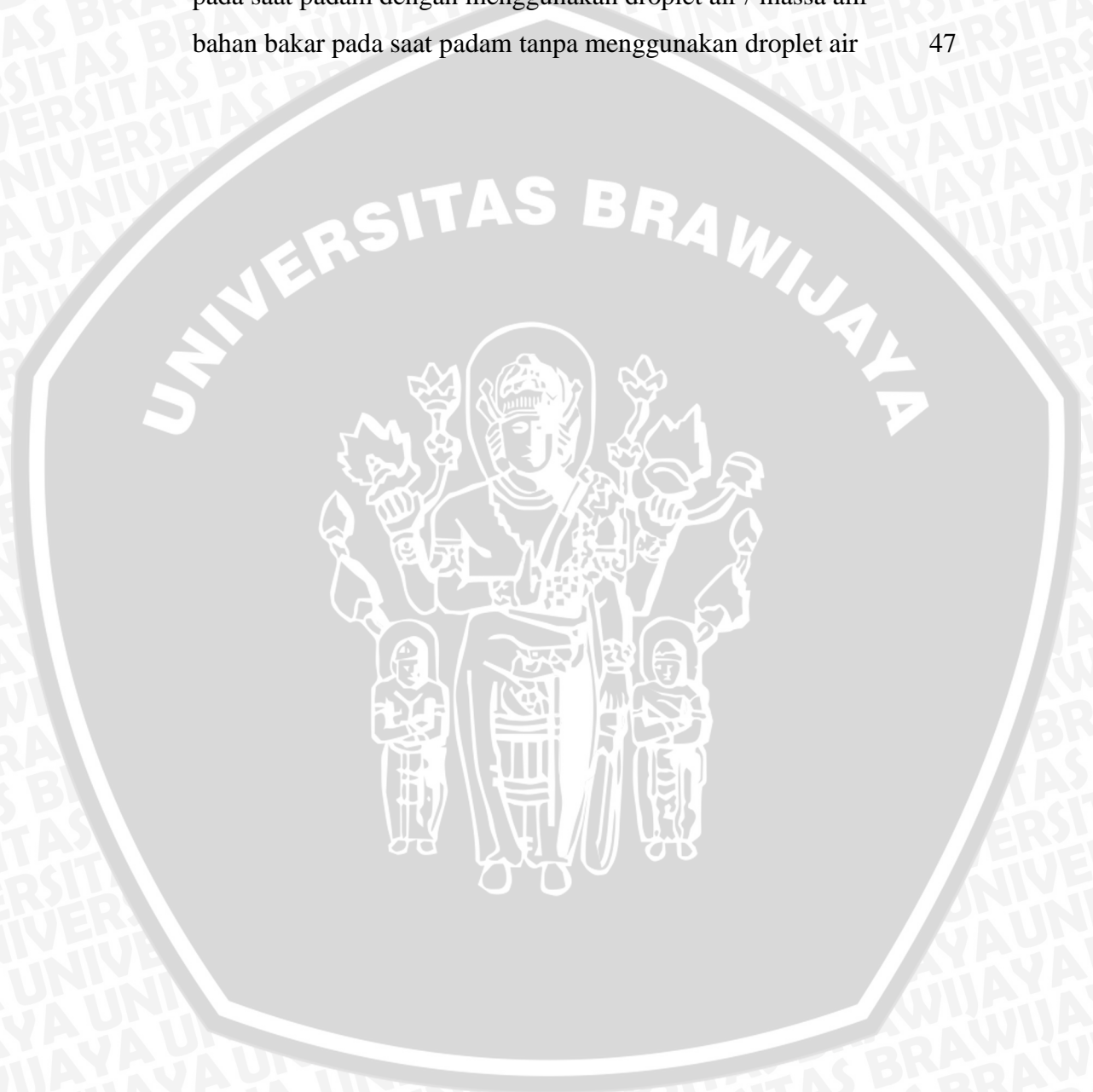
| No. | Judul | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 2.1 | Massa molar unsur | 8 |
| Tabel 2.2 | Macam-macam diameter rata-rata dan aplikasinya | 17 |
| Tabel 4.1 | Data droplet air dengan \dot{m}_{udara} dari kompresor sebesar 0,3376 g/s | 34 |
| Tabel 4.2 | Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data | 35 |
| Tabel 4.3 | Data rata-rata SMD | 36 |
| Tabel 4.4 | Data perbandingan tinggi api | 41 |
| Tabel 4.5 | Debit bahan bakar pada saat padam | 42 |
| Tabel 4.6 | Massa alir bahan bakar pada saat padam | 43 |
| Tabel 4.7 | Data perbandingan massa alir bahan bakar saat padam | 43 |



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 2.1 | Mekanisme kesetabilan api <i>premixed</i> | 7 |
| Gambar 2.2 | Segitiga Api | 9 |
| Gambar 2.3 | <i>Smoothering</i> | 11 |
| Gambar 2.4 | <i>Cooling</i> | 11 |
| Gambar 2.5 | <i>Starvation</i> | 11 |
| Gambar 2.6 | Perubahan Fase cair | 13 |
| Gambar 2.7 | Konfigurasi <i>twin fluid atomizer</i> | 14 |
| Gambar 2.8 | <i>Spray gun</i> | 16 |
| Gambar 3.1 | Manometer pipa-U | 19 |
| Gambar 3.2 | Skema <i>orifice</i> | 20 |
| Gambar 3.3 | Skema instalasi penelitian | 22 |
| Gambar 3.4 | Diagram Alir Penelitian | 28 |
| Gambar 4.1 | Droplet air pada kaca | 29 |
| Gambar 4.2 | Foto berwarna <i>black and white</i> berukuran 100x100 piksel | 30 |
| Gambar 4.3 | <i>Coding Editor</i> | 31 |
| Gambar 4.4 | <i>workspace</i> | 31 |
| Gambar 4.5 | Variabel <i>editor W</i> | 32 |
| Gambar 4.6 | Koin | 32 |
| Gambar 4.7 | Konversi <i>pixel</i> menjadi ukuran sebenarnya | 33 |
| Gambar 4.8 | Foto droplet air dengan m_{udara} dari kompresor sebesar 0,3376 g/s | 34 |
| Gambar 4.9 | Proses pemasukan file gambar ke program Autocad | 37 |
| Gambar 4.10 | Proses pengukuran penggaris menggunakan <i>linear dimension</i> | 37 |
| Gambar 4.11 | Proses merubah ukuran penggaris menjadi ukuran sebenarnya | 38 |
| Gambar 4.12 | Proses modifikasi proses <i>dimension style manager</i> | 38 |
| Gambar 4.13 | Proses merubah satuan foto ke ukuran sebenarnya | 39 |
| Gambar 4.14 | Proses pengukuran tinggi api menggunakan <i>linear dimension</i> | 39 |
| Gambar 4.15 | Tinggi api tanpa droplet air | 40 |
| Gambar 4.16 | Tinggi api dengan menggunakan droplet air 87.41 μm | 40 |
| Gambar 4.17 | Tinggi api dengan menggunakan droplet air 67.52 μm | 40 |
| Gambar 4.18 | Tinggi api dengan menggunakan droplet air 51.44 μm | 40 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.19 | Pengukuran debit bahan bakar | 41 |
| Gambar 4.20 | Perbedaan tinggi api | 44 |
| Gambar 4.21 | Pengaruh diameter droplet air terhadap tinggi api terhadap Tinggi api dengan menggunakan droplet air / tinggi api tanpa droplet air | 46 |
| Gambar 4.22 | Pengaruh diameter droplet air terhadap massa alir bahan bakar pada saat padam dengan menggunakan droplet air / massa alir bahan bakar pada saat padam tanpa menggunakan droplet air | 47 |



DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul |
|------------|--|
| Lampiran 1 | Perhitungan massa alir udara kompresor |
| Lampiran 2 | Perhitungan massa alir udara blower |
| Lampiran 3 | Kalibrasi debit aliran udara kompresor |
| Lampiran 4 | Kalibrasi debit udara blower |
| Lampiran 5 | Perhitungan Massa alir air |
| Lampiran 6 | Perhitungan ukuran droplet air |
| Lampiran 7 | Perhitungan AFR dan Equivalen Ratio |



RINGKASAN

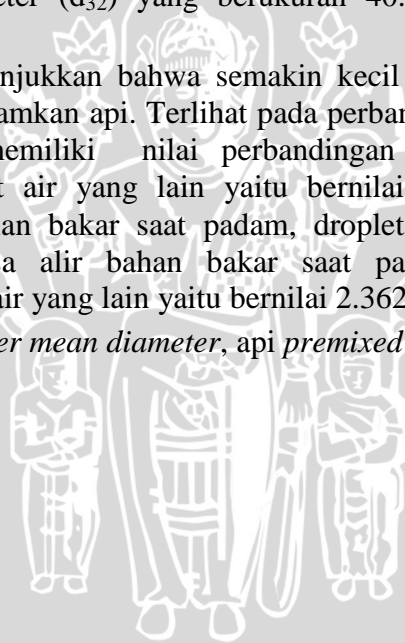
M. Windanarko Siamullah, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2013, *Pengaruh diameter droplet air terhadap proses pemadaman api tipe premixed flame*, Dosen Pembimbing : Mega Nur Sasongko dan Lilis Yuliati.

Kebakaran yang kerap terjadi dipadamkan dengan menggunakan gas agen pemadam kebakaran yaitu gas halon. Halon yang mengandung senyawa *chloro fluoro carbon* (CFC) yang kita ketahui dapat merusak ozon, sehingga harus dihentikan penggunaannya. Salah satu agen pengganti gas halon yaitu air, air merupakan agen pemadam kebakaran yang ramah lingkungan dan juga mudah didapat. Air harus dirubah terlebih dahulu menjadi droplet air, bertujuan untuk mendapatkan pemadaman yang efektif. Dalam kebakaran terdapat 2 jenis api yaitu api difusi dan api premixed dimana api premixed lebih berbahaya sebab proses pembakarannya berlangsung secara sempurna (stochiometry) sehingga memiliki kalor yang lebih besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter droplet air terhadap pemadaman api tipe premixed flame. Penelitian ini menggunakan variasi ukuran droplet air untuk memadamkan api *premixed*. Variasi yang digunakan dengan memakai sauter mean diameter (d_{32}) yang berukuran 40.21 μm , 53.33 μm , dan 69.93 μm .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran droplet air maka semakin efektif untuk memadamkan api. Terlihat pada perbandingan tinggi api, droplet air berukuran 40.21 μm memiliki nilai perbandingan tinggi api paling kecil dibandingkan dengan droplet air yang lain yaitu bernilai 0.727. Sedangkan pada perbandingan massa alir bahan bakar saat padam, droplet air berukuran 40.21 μm memiliki perbandingan massa alir bahan bakar saat padam yang paling besar dibandingkan dengan droplet air yang lain yaitu bernilai 2.362.

Kata kunci : Droplet air, *sauter mean diameter*, api *premixed*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebakaran sering kali terjadi, membuat masyarakat takut akan kehilangan tempat tinggal, tempat usaha, dan lain-lain. Kebakaran sering terjadi akibat adanya kekosletan kabel listrik, meledaknya tabung gas LPG, dan lain-lain. Sudah banyak alat-alat pemadam kebakaran yang ditemukan salah satunya tabung pemadam kebakaran sistem *portable*.

Halon merupakan salah satu gas agen pemadam kebakaran yang paling efektif digunakan untuk memadamkan api. Gas halon ini bisa kita temukan di dalam gedung-gedung besar yang memiliki pemadam api dalam sistem *portable* dan sistem tetap (*fixed installation*). Gas halon memiliki keunggulan memadamkan api dengan cepat dengan cara memutuskan rantai reaksi pembakaran. Namun pemakaian gas halon menjadi kontroversi setelah diketahui mengandung senyawa *chloro fluoro carbon* (CFC) yang mana kita ketahui senyawa tersebut sangat berbahaya bagi atmosfer karena dapat merusak ozon. Berdasarkan KEPPRES No 23 tahun 1992 tentang Pengesahan “Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer” yang mengatur pengurangan secara bertahap dan penghentian pemakaian bahan-bahan yang merusak ozon, maka halon juga mulai dibatasi pemakaiannya sehingga harus dicari alternatif sebagai media penggantinya.

Setelah mengerti gas halon mengandung senyawa CFC banyak penelitian dilakukan untuk menemukan agen-agen pengganti halon tersebut seperti gas CO₂, gas N₂ dan juga air yang lebih ramah terhadap lingkungan. Kebanyakan agen yang digunakan sekarang adalah air, sebab air memiliki kemampuan untuk menguap secara cepat ketika mendapatkan panas dari api dan juga bisa sebagai pengganggu kesetimbangan api dengan cara menumbuk api tersebut. Selain itu air juga sangatlah mudah di temukan dan air salah satu sumber daya alam yang tak akan pernah habis. Namun air ini dalam pemadam api sistem *portable* maupun *fixed installation* haruslah menjadi droplet air terlebih dahulu agar mendapatkan pemadaman api yang efektif. Droplet air memadamkan api dengan cara menyerap kalor dari api untuk proses penguapannya, sehingga temperatur api tersebut akan turun. Proses penguapan ini menyerap kalor dalam jumlah yang besar sehingga dapat menurunkan temperatur api secara signifikan dan mengakibatkan pemadaman api.

Pembakaran secara garis besar ada 2 yaitu pembakaran secara difusi (proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi yang terjadi pada saat pembakaran) dan pembakaran secara *premixed* (pembakaran dimana bahan bakar dan udara sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran).

Pembakaran secara *premixed* ini membutuhkan perbandingan antara udara dan bahan bakar (AFR) dalam jumlah tertentu. Api yang ditimbulkan oleh pembakaran *premixed* sangatlah besar sebab terdapat 2 api yaitu api *premixed* sendiri dan terdapat juga api difusi. Namun kelemahan dari api *premixed* ini sering terjadi *flash back* yang mana api akan merambat ke dalam ruang pencampuran mekanik yang menyebabkan kebakaran. Sehingga tipe api ini rawan terjadi kebakaran, apabila terjadi kebakaran pada api tipe ini lebih susah untuk di padamkan.

Pada penelitian sebelumnya telah diteliti tentang pengaruh diameter rata-rata droplet air *polydisperse* (ukuran droplet yang berbeda-beda) terhadap konsentrasi oksigen pada pemadaman api difusi *counterflow* (Sasongko;2011). Dalam penelitian Sasongko memakai metana sebagai bahan bakar dengan massa alir konstan dan *sauter mean diameter* sebagai ukuran droplet air.

Semakin kecil ukuran diameter droplet air maka luas permukaan yang terbentuk akan lebih besar dibandingkan dengan droplet air berukuran besar. Semakin besar luas permukaan droplet air yang terbentuk maka kemampuan untuk menyerap kalor akan semakin besar disebabkan banyaknya droplet air yang akan menyerap kalor pada api. Namun apabila ukuran droplet air terlalu kecil, droplet air akan menguap sebelum mengambil kalor dalam api dan apabila ukuran droplet air terlalu besar, droplet air akan melewati api begitu saja karena droplet air tidak menguap sepenuhnya.

Sekarang droplet air sudah banyak yang mengaplikasikannya baik dalam bentuk portable maupun *fixed installation*. Namun belum diketahui ukuran diameter droplet air yang paling efektif untuk memadamkan api. Oleh karena itu dalam penelitian ini saya akan meneliti tentang pengaruh ukuran diameter droplet air pada proses pemadaman api tipe *premixed flames* sehingga dapat mengetahui ukuran droplet air yang paling efektif sebagai agen pemadam kebakaran dalam sistem *portable* maupun *fixed installation*.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, disusun rumusan masalah sebagai berikut:
Bagaimana pengaruh diameter *droplet air* terhadap proses pemadaman api tipe-*Premixed flame*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG dengan komposisi 70 % propana dan 30 % butana.
2. Aliran fluida dalam *twin fluid atomizer* diasumsikan dalam keadaan *steady*.
3. Fluida cair yang digunakan untuk pengkabutan menggunakan air PDAM (99.99% H₂O).
4. Aliran fluida dalam pipa saluran udara diasumsikan dalam keadaan *steady*.
5. Bahan bakar dan udara pembakaran diasumsikan bercampur secara mekanik dalam konektor Y (*mixer*).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi diameter droplet air terhadap proses pemadaman api tipe *premixed flame*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh ukuran diameter droplet air untuk proses pemadaman api tipe *premixed flame*.
2. Sebagai media untuk pengaplikasian teori yang telah diperoleh selama perkuliahan khususnya mengenai prinsip-prinsip ilmu mekanika fluida dan teknologi pembakaran.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada penulis dan pembaca sebagai pengetahuan dan pengembangan serta penyempurnaan dalam proses atomisasi pada *twin fluid atomizer* dalam teori pemadaman api.
4. Sebagai dasar maupun literatur untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sasongko (2011) secara eksperimental meneliti tentang efek dari diameter droplet rata-rata semprotan air yang *polydisperse* (ukuran droplet yang berbeda-beda) terhadap konsentrasi oksigen pada pemadaman api difusi *counterflow*. Metana sebagai bahan bakar dialirkan dari saluran atas sedangkan oksigen sebagai *oxidizer* dialirkan dari saluran bawah. Bahan bakar dan *oxidizer* yang berlawanan arah ini yang menghasilkan api difusi *counterflow*. Droplet air sebagai pemadam api dihasilkan oleh *twin fluid atomizer* yang di semprotkan dari saluran bawah. Dalam penelitian ini karakteristik pembakaran api difusi *counterflow* dengan spray air diteliti dan kondisi pemadaman diperoleh dari pengurangan konsentrasi oksigen pada aliran *oxidizer* terhadap distribusi ukuran droplet yang berbeda. Sasongko pada penelitian pertama meneliti tentang pengaruh *Sauter mean diameter* (SMD) droplet air terhadap konsentrasi oksigen pada saat pemadaman dengan menggunakan tiga massa fraksi droplet air yang berbeda. Sedangkan penelitian kedua meneliti tentang pengaruh SMD droplet air terhadap konsentrasi oksigen pada saat pemadaman dengan menggunakan dua *strain rate* yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa diameter rata-rata droplet yang optimal sebesar $65\mu\text{m}$ pada pemadaman api mempunyai penetrasi yang besar dan waktu penguapan yang cepat.

Takahashi (2009) meneliti tentang pemadaman api difusi tipe *counterflow flame* dengan memakai bahan bakar metana dan *polymethylmethacrylate* (PMMA). Bahan bakar dialirkan dari saluran atas sedangkan oksigen sebagai *oxidizer* dialirkan dari saluran bawah. Aliran bahan bakar dan udara berlawanan arah menghasilkan pembakaran *counterflow*. Takahashi dalam penelitian ini memadamkan api dengan memakai 2 parameter yaitu parameter pertama dengan menggunakan gas agen (CO_2 dan N_2) dan parameter kedua dengan menggunakan droplet air dengan ukuran $\approx 35\mu\text{m}$. Pada penelitian pertama dengan menggunakan gas agen N_2 dan CO_2 didapat bahwa pemadaman api dengan bahan bakar metana memerlukan fraksi volum gas CO_2 dan N_2 sebesar 0.182 dan 0.314 pada kecepatan alir rata-rata oksidaser sebesar 4 cm/s dengan kecepatan rata-rata bahan bakar tidak mengalami perubahan. Semakin besar kecepatan rata-rata *oxidizer* maka fraksi volum agen yang digunakan semakin kecil untuk pemadaman api. Sedangkan pada bahan bakar PMMA fraksi volum yang dipakai lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar metana untuk pemadaman api

dengan kecepatan alir rata-rata oksidaser yang sama. Pada penelitian kedua memadamkan api dengan menggunakan droplet air ($\approx 35\mu m$) yang memiliki fraksi massa air yang berbeda. Bahan bakar metana memerlukan fraksi massa air yang lebih besar di dibandingkan dengan bahan bakar PMMA untuk proses pemadaman api dengan kecepatan rata-rata *oxidizer* yang sama. Dalam penelitian ini menemukan 3 hal yang bisa dijadikan hasil. Yang pertama yaitu, pemadaman bisa terjadi jika temperatur puncak tidak melebihi 1600K. Hasil kedua menunjukkan bahwa penambahan gas CO₂ atau H₂O dapat mempengaruhi struktur api. Sedangkan hasil yang ketiga menunjukkan titik stagnasi struktur aliran dapat di indentifikasi dalam pemadaman api difusi *counterflow*.

2.2 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia dan sehari-hari dekat dengan kehidupan kita, bahkan 90% energi di dunia diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Pembakaran sendiri merupakan reaksi eksotermis, reaksi eksotermis ialah reaksi yang membebaskan kalor dari sistem ke lingkungan.

Ciri-ciri reaksi eksotermis adalah :

- Biasanya suhu sistem lebih tinggi dari pada lingkungan
- Kalor berpindah dari sistem ke lingkungan
- Disertai kenaikan suhu
- Biasanya menghasilkan gas contohnya gas CO₂ dan H₂O

Definisi pembakaran yaitu reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksida (oksigen atau udara) yang mampu menghasilkan cahaya (api) dan panas dalam jumlah yang besar.

Menurut Wardana (2008:3), proses pembakaran bisa berlangsung jika ada:

1. Bahan bakar
2. Pengoksida (oksigen/udara)
3. Panas atau energi aktivasi

Pada saat pembakaran terdapat dua peristiwa utama yang terjadi:

1. Ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Ikatan molekul yang kuat ini akan dilepas ke dalam sistem dan akan menghasilkan kenaikan temperatur.

2. Komposisi dari campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler.

Berdasarkan pada peristiwa diatas terdapat dua hal yang harus dipenuhi agar reaksi pembakaran dapat berlangsung, yaitu: kesetimbangan massa yang disebut stoikiometri dan kesetimbangan energi yang diterapkan ketika proses pembakaran berlangsung diturunkan dari prinsip-prinsip termokimia (Wardana, 2008:55).

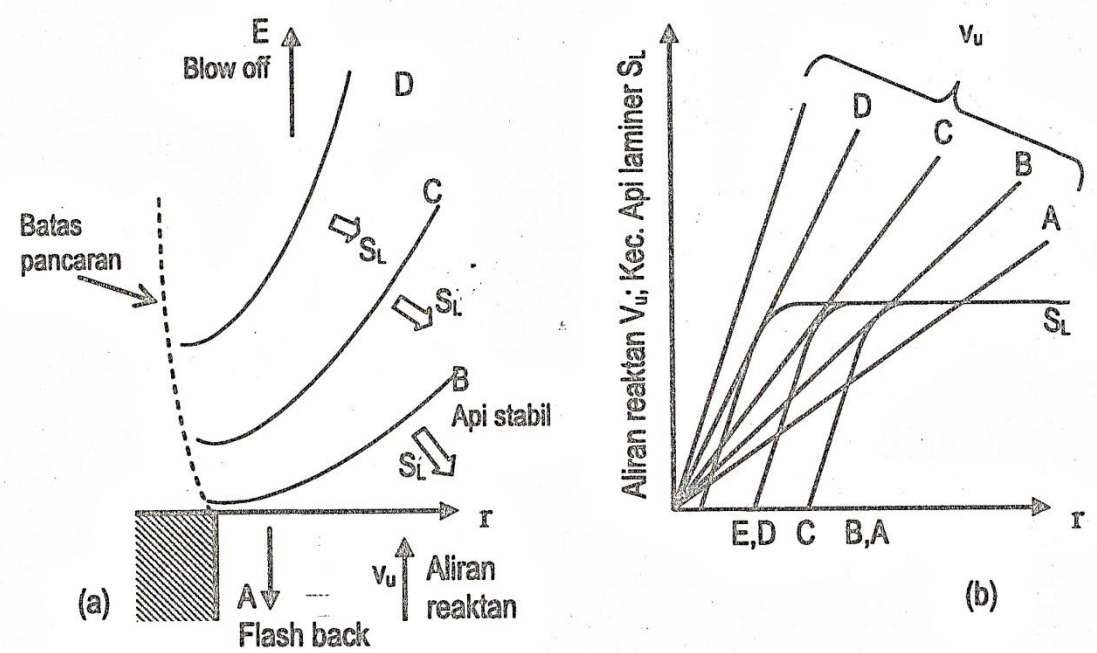
Berdasarkan pada proses pencampuran bahan bakar dan oksigen, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis:

1. Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi baru terjadi pembakaran.
2. Pembakaran *premixed* adalah pembakaran dimana bahan bakar dan udara sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran.

2.2.1. Pembakaran *Premixed*

Seperti pada penjelasan sebelumnya, pembakaran *premixed* merupakan pembakaran dimana bahan bakar dan udara bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran. Pada pembakaran *premixed*, terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame* (Wardana, 2008:152). Contoh paling khas dari api *premixed* ini adalah api Bunsen, dimana api *premixed* ini berbentuk kerucut. Kerucut pada api Bunsen ada dua, yaitu kerucut dalam (yang dekat dengan mulut nosel) yang merupakan api *premixed* dan kerucut luar adalah kerucut api difusi.

Di dalam proses pembakaran, kestabilan memegang peranan yang sangat besar. Api dikatakan stabil jika keadaan tetap stasioner pada posisi tertentu. Peristiwa ini dapat terjadi jika kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan rambat api. Kondisi pembakaran yang stabil akan terjadi jika garis kecepatan gas reaktan menyinggung garis kecepatan pembakaran, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Mekanisme kestabilan api *premixed*: (a) bagian kerucut api; (b) gradien kecepatan api dan reaktan
 Sumber : Wardana, 2008 :171

Jika garis kecepatan gas reaktan tidak memotong garis kecepatan pembakaran yaitu kondisi dimana kecepatan gas reaktan lebih besar dari kecepatan pembakaran, maka akan terjadi *blow-off*. Pada kondisi lain jika garis kecepatan gas memotong garis kecepatan pembakaran di dua titik, maka akan terjadi peristiwa yang dikenal dengan *flash back*.

2.2.2 Rasio Udara dan Bahan Bakar (Air Fuel Ratio)

Salah satu yang mempengaruhi proses terjadinya pembakaran adalah perbandingan jumlah mol udara terhadap jumlah mol bahan bakar atau lebih dikenal dengan istilah *air fuel ratio* (AFR). Nilai ini sangat berpengaruh pada jumlah udara yang akan disuplai untuk mereaksikan jumlah tertentu dari bahan bakar. Apabila bahan bakar dan udara bercampur secara seimbang atau dengan kata lain udara yang di sediakan untuk membakar semua bahan bakar sehingga bahan bakar tidak ada lagi yang tidak terbakar, campuran ini dikenal sebagai campuran *stoichiometry*. Apabila nilai AFR ini tidak diperhitungkan secara *stoichiometry* maka proses pembakaran tidak akan berlangsung secara maksimal, sehingga dibutuhkan campuran yang sesuai karena apabila kekurangan jumlah udara yang disediakan maka ada sebagian bahan bakar yang tidak akan terbakar untuk menghasilkan energi panas atau yang lainnya. Persamaan AFR dapat dilihat dari persamaan 2.1 dan 2.2

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{Bahan\ bakar}} \quad (\text{Wardana, 2008:58}) \quad (2.1)$$

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{Ba\ han\ bakar}} \quad (\text{Wardana, 2008:58}) \quad (2.2)$$

Keterangan :

AFR = perbandingan udara dengan bahan bakar ($kg_{udara}/kg_{bahanbakar}$ atau $mol_{udara}/mol_{bahan\ bakar}$)

N = Jumlah mol (mol)

M = Massa molekul

Untuk menghitung AFR dapat menghitung massa molar secara langsung dengan menggunakan massa molar. Menurut Avogadro, setiap gram zat memiliki $6,022 \times 10^{23}$ sma (satuan massa atom). $6,022 \times 10^{23}$ adalah bilangan Avogadro. Avogadro menerangkan bahwa volume gas yang sama punya jumlah molekul yang sama. Jadi satu mol sebuah zat adalah jumlah yang massanya sama dengan massa molekul atau massa atom zat tersebut yang dinyatakan dalam gram atau kilogram.

Biasanya atom-atom yang terlibat dalam reaksi pembakaran adalah bahan bakar hidrokarbon yaitu C, H, O₂ dan N₂ maka molarnya bisa diketahui dari tabel 2.1 Berikut :

Tabel 2.1 Massa Molar unsur

| Atom, Molekul | Massa Molekul | Massa Molar |
|----------------|---------------|-------------|
| C | 12,01 sma | 12,01 g |
| H | 1,01 sma | 1,01 g |
| O ₂ | 32 sma | 32 g |
| N ₂ | 28,02 sma | 28,02 g |

Sumber : Wardana (2008:59)

2.2.3 Equivalence Ratio

Equivalence ratio adalah perbandingan antara AFR stoikhiometri dengan AFR aktual, ditunjukkan pada rumus sebagai berikut :

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoikio}}{(AFR)_{aktual}} \quad (\text{Wardana, 2008:65}) \quad (2.3)$$

Equivalence ratio umumnya digunakan untuk menentukan apakah campuran udara dan bahan bakar merupakan campuran kaya, miskin atau stoikhiometri. Nilai $\Phi=1$

menunjukkan udara-bahan bakar adalah stoikhiometri, $\Phi > 1$ adalah campuran kaya bahan bakar dan $\Phi < 1$ adalah campuran miskin bahan bakar.

2.3 Pemadaman Api

2.3.1 Segitiga Api

Segitiga api atau segitiga pembakaran adalah skema sederhana yang menggambarkan mekanisme terjadinya pembakaran / api. Ada 3 unsur yang menyebabkan terjadinya pembakaran / api yaitu : bahan bakar, agen oksidator (biasanya oksigen/udara), dan panas. Ketiga unsur pembakaran ini akan membentuk segitiga api yang setiap sisi-sisinya saling membutuhkan.



Gambar 2.2: Segitiga api

Sumber : <http://www.fire-extinguisher-indonesia.com/2012/05/skema-segitiga-api.html>

Pencegahan atau pemadaman api dapat dilakukan dengan cara menghapus atau menghilangkan salah satu sisi dari skema segitiga api diatas. Memadamkan api dengan cara menurunkan temperatur atau mengambil kalor dalam api dapat dilakukan. Tanpa panas yang cukup sebuah pembakaran tidak dapat dimulai dan apabila sudah terjadi, pembakaran tersebut tidak dapat berlanjut.

Air dapat mengurangi atau menghilangkan panas agar pembakaran tidak dapat berlangsung. Air membutuhkan panas untuk proses penguapannya, untuk merubah fase air dari cair menjadi uap membutuhkan panas yang besar sehingga air dapat mengambil panas yang terdapat dalam api dalam jumlah besar dan api akan kekurangan panas yang menyebabkan api akan padam. Apabila sisi panas dalam segitiga api hilang, maka proses pembakaran tidak akan terjadi.

Unsur yang kedua adalah bahan bakar. Sebuah kebakaran tidak dapat terjadi tanpa adanya kehadiran bahan bakar. Bahan bakar dapat dihilangkan secara alami, seperti sebuah pembakaran yang mengkonsumsi seluruh bahan bakar atau secara

manual dengan proses mekanisme atau kimiawi menghilangkan bahan bakar dari sebuah api. Pemisahan bahan bakar merupakan salah satu pencegahan terjadinya pembakaran. Sisi dari segitiga api yaitu bahan bakar apabila dihilangkan maka tidak dapat berlangsung sebuah proses pembakaran.

Unsur yang ketiga yaitu agen oksidator (biasanya oksigen / udara). Tanpa adanya oksigen yang cukup, sebuah pembakaran tidak dapat tersulut dan tidak dapat berlanjut apabila itu sudah terlanjur terjadi. Dengan mengurangi konsentrasi oksigen, maka sebuah proses pembakaran akan melambat. Oksigen merupakan salah satu gas yang secara alami terkandung di udara bebas. Tetapi dalam banyak kasus, masih ada sedikit udara yang tertinggal meskipun api / kebakaran sudah padam, jadi kehadiran udara secara umum bukan merupakan sebuah faktor mayor dalam terjadinya kebakaran.

2.3.2 Mekanisme pemadaman api

Segitiga api merupakan skema yang menghubungkan ketiga unsur untuk menghasilkan pembakaran / api. Konsep segitiga api pun bisa digunakan untuk mencegah api atau mengontrol api tersebut setelah terjadi. Mengurangi jumlah material dibawah batas minimal yang dibutuhkan untuk dapat terjadinya proses pembakaran merupakan dasar dari mekanisme pemadaman api. Mekanisme pemadaman api dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu :

- *Smothering* (penutupan/penyelimutan): Pemadaman isolasi/ lokalisasi, memutuskan hubungan udara luar dengan benda / bahan yang terbakar agar perbandingan udara (oksigen) dengan benda yang terbakar berkurang di bawah konsentrasi oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran tersebut, dimana dalam ilustrasi segitiga api bahwa tanpa adanya oksigen/udara maka pembakaran tidak dapat berlangsung. Dalam proses pemadaman ini bahan bakar atau benda yang terbakar akan kekurangan oksigen/udara untuk melakukan proses pembakaran dan kemudian api akan padam. Mekanisme *Smothering* ini dengan menggunakan kain basah atau selimut basah yang menutupi api sehingga api akan kekurangan udara dan api akan padam.



Gambar 2.3 : *Smothering*
Sumber : www.

- *Cooling* (pendinginan): Panas yang terdapat dalam api akan dikurangi pada proses pemadaman ini. Mengurangi panas hingga benda yang terbakar mencapai suhu di bawah titik nyalanya akan membuat proses pembakaran pada benda tersebut tidak dapat berlangsung lagi sebab panas yang terkandung dalam proses pembakaran ini kurang untuk melakukan proses pembakaran selanjutnya. Air salah satu contoh zat yang dapat digunakan untuk melakukan proses *cooling*. Proses *cooling* ini dilakukan dengan cara disemprotkannya suatu zat ke arah api untuk pengambilan panas yang terdapat dalam api.



Gambar 2.4 : *Cooling*
Sumber : www.

- *Starvation* : Dengan cara mengurangi jumlah bahan-bahan yang terbakar atau menutup aliran bahan (cair/gas) yang terbakar, sebab api tidak akan bisa menyala apabila bahan bakar atau material yang dibakarnya tidak ada. Pada proses pemadaman ini dilakukan apabila api belum merambat ke semua benda-benda yang mudah terbakar sehingga kebakaran tidak mungkin terjadi.



Gambar 2.5 : *Starvation*
Sumber : www.

2.4 Evaporasi Air

Penguapan atau evaporasi adalah proses perubahan zat dari keadaan cair (contohnya air) menjadi gas (contohnya uap air). Penguapan ini terjadi dikarenakan adanya panas yang di ambil oleh air untuk bisa melakukan perubahan fase dari cair ke gas. Panas dalam penguapan ini ada dua macam yaitu, panas sensibel dan panas laten.

Panas sensibel merupakan kemampuan pertukaran panas pada sistem termodinamika yang memiliki efek perubahan temperatur tanpa mengalami perubahan fase. Sebagai contoh mencairnya es yang temperatur awalnya -40°C sebelum es merubah fase dari padat ke cair, suhu dalam es -40°C ini akan dinaikan menjadi 0°C , es ini belum dapat merubah fasenya namun sudah mengalami perubahan suhu. Dalam penelitian ini droplet air berkemampuan untuk merubah temperturnya dari temperatur suhu ruangan (27°C) menjadi 100°C ketika mendekati api namun belum mengalami perubahan fase menjadi uap, proses naiknya temperatur ini dinamakan panas sensibel. Panas sensibel pada proses termodinamika dapat dihitung sebagai hasil perkalian dari massa (m) dengan kapasitas panas spesifik (c) dan perubahan temperatur (ΔT).

$$Q_{\text{sensibel}} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (\text{Bintoro, 2008:17}) \quad (2.4)$$

Lain halnya dengan panas laten. Es yang suhunya turun hingga 0°C dikarenakan panas laten akan merubah fasenya dari padat menjadi cair tanpa mengalami kenaikan temperatur, proses terjadinya perubahan fase ini dinamakan panas laten. Dalam penelitian ini droplet air yang suhunya sudah dinaikan menjadi 100°C akan merubah fasenya menjadi uap air ketika melewati api dikarenakan droplet air menyerap panas laten yang terdapat dalam api. Panas laten untuk suatu massa pada suatu zat dapat dihitung dengan :

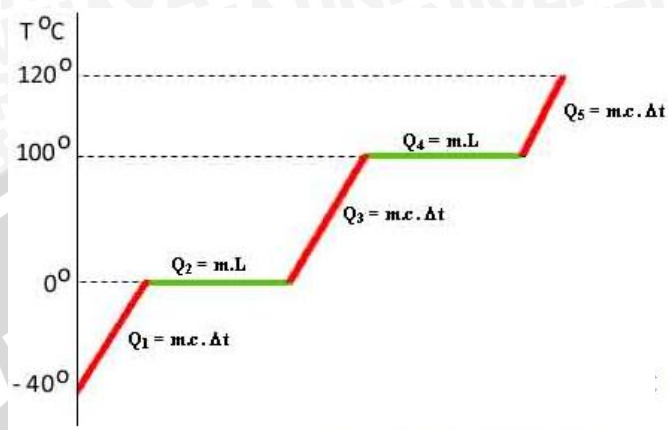
$$Q_{\text{laten}} = mL \quad (\text{Bintoro, 2008:18}) \quad (2.5)$$

Keterangan :

- Q_{laten} adalah jumlah energi yang dilepaskan atau diserap selama perubahan fase zat (dalam kJ atau dalam BTU)
- m adalah massa zat (dalam kg atau lb)
- L adalah kalor laten spesifik untuk suatu zat tertentu (kJ/kg atau BTU/lb).

Dalam proses pemadaman api membutuhkan kedua panas ini untuk mengambil kalor panas yang terdapat dalam api dengan cara menguapkan zat dalam hal ini air. Air memiliki kemampuan untuk menguap lebih cepat ketika mendapat kalor panas. Air pada suhu normal 27°C akan mengambil kalor panas sensibel yang terdapat dalam api yang

akan merubah suhunya menjadi 100°C . Setelah itu air akan mengambil kalor panas laten dalam api yang akan merubah fasenya dari fase cair menjadi uap air. Hal ini mengakibatkan penurunan temperatur dan kecepatan pembakaran yang pada akhirnya mengakibatkan pemadaman api. Dalam gambar 2.3 menunjukkan panas sensibel (garis merah) dan panas laten (garis hijau).



Gambar 2.6 : grafik perubahan fase air

Sumber : <http://smpfisikabb.wordpress.com/2012/02/02/kalor-dan-perubahan-wujud-zat/>

Laju besarnya kalor yang berpindah dari api ke droplet air disebut laju perpindahan panas. Laju perpindahan panas dalam penelitian ini menggunakan laju perpindahan panas secara konveksi yang mana perpindahan panas karena ada pergerakan fluida. Fluida yang bergerak disini adalah droplet air yang akan mengalir menuju panas api. Besarnya perpindahan kalor konveksi dinyatakan dengan

$$q = h A \Delta T \quad (\text{Pudjanarsa, 2008:244}) \quad (2.6)$$

Keterangan :

q adalah laju perpindahan panas [J/s]

h adalah koefisien perpindahan panas konveksi [$\text{w/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$]

A adalah luas permukaan perpindahan panas [m^2]

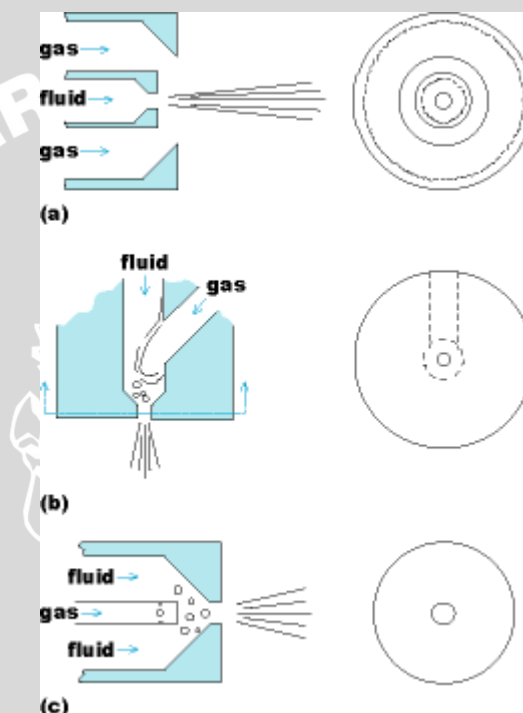
ΔT adalah beda temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Semakin besar luas permukaan perpindahan panas (luas permukaan droplet air) maka laju perpindahan panas ikut menjadi besar sehingga menyebabkan api akan lebih cepat padam.

2.5 Twin Fluid Atomizer

Twin fluid atomizer adalah alat yang digunakan untuk mengubah air menjadi droplet air. *Twin fluid atomizer* di aliri dua fluida yaitu fluida cair dan fluida udara bertekanan. Dimana kedua fluida bercampur terlebih dahulu di *maxing camber* setelah itu melewati *orifice* dan menghasilkan droplet air.

Konfigurasi dari *twin fluid atomizer* bisa bermacam-macam. Ada tiga macam konfigurasi *twin fluid atomizer* yaitu *external mix atomizer*, *Y-jet internal mix atomizer*, dan *effervescent internal mix atomizer* (Sojka, 2008:3). Ditunjukkan dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 : Konfigurasi *twin fluid atomizer* (a) *external mix atomizer*, (b) *Y-jet internal mix atomizer*, (c) *effervescent internal mix atomizer*

Sumber : Sojka, (2008:3)

Twin fluid atomizer terdiri atas bagian-bagian inti yang meliputi *liquid inlet*, *air inlet*, *mixing chamber*, dan *orifice*. *Liquid inlet* berfungsi untuk masuknya fluida cair ke dalam *mixing chamber*. *Air inlet* berfungsi untuk masuknya fluida gas ke dalam *mixing chamber*. *Mixing chamber* berfungsi sebagai tempat bertemunya fluida cair dan fluida gas sehingga terjadi pencampuran antara kedua fluida. *Orifice* berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida dari *twin fluid atomizer*. Fungsi dari *twin fluid atomizer* yaitu memecah fluida cair menjadi butiran-butiran kecil (*droplet*) dengan menggunakan fluida gas.

Semprotan dari *twin fluid atomizer* memiliki karakteristik tertentu, dimana karakteristik itu meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Karakteristik tersebut dapat berubah-ubah karena berbagai pengaruh. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik itu adalah propertis fluida, bentuk *atomizer* maupun kondisi lingkungan sekitar yang ada pada saat itu. Dalam penelitian ini digunakan tipe *external mix atomizer*.

Twin fluid atomizer yang dipakai dalam penelitian ini adalah *spray gun* (alat cat). *Spray gun* pada umumnya dipakai untuk dunia pengecatan, namun dalam penelitian ini bahan cat diganti dengan fluida air. Dalam pemakaian *spray gun* perlu diperhatikan 3 hal, yaitu:

1. Pengatur volume cairan (air)

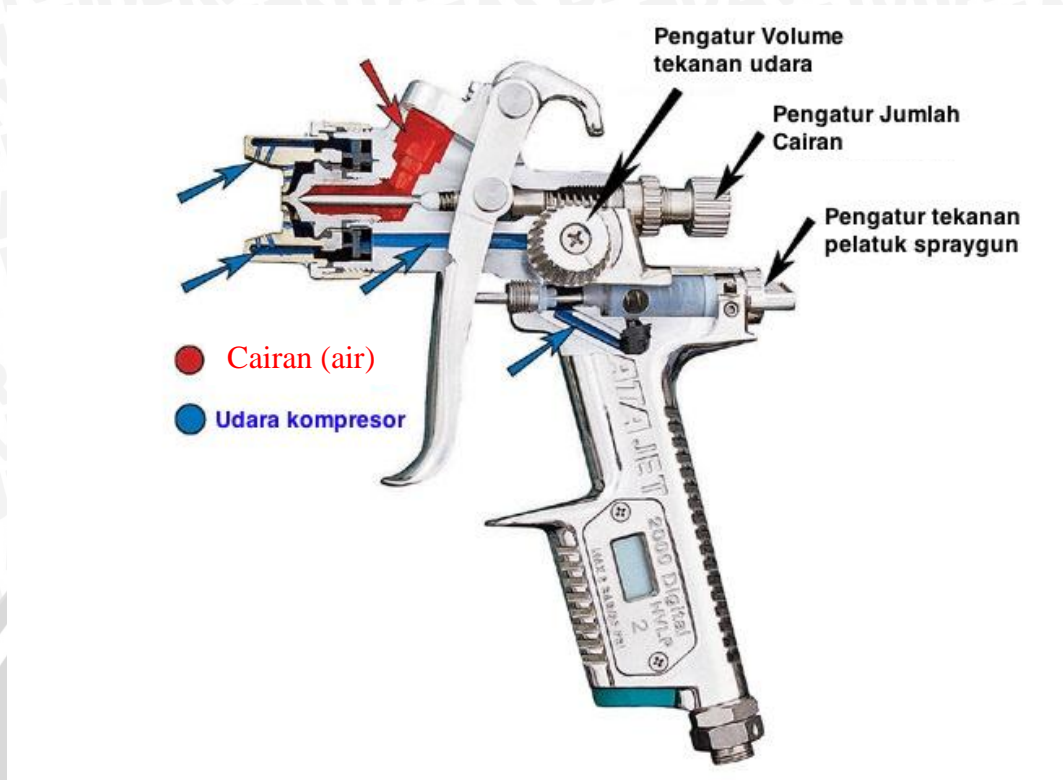
Kontrol ini berfungsi untuk mengatur besar-kecilnya jumlah cairan yang keluar dari nosel. Sebenarnya Knob ini mengatur jarak lubang nosel dengan jarum nosel ketika pelatuk *spray gun* ditekan. Jarak tersebut yang membuat udara bertekanan menarik cairan keluar. Memutar knob tersebut ke kiri (berlawanan arah jarum jam) akan memperbesar jarak jarum nosel sehingga cairan lebih banyak keluar. Tekan pelatuk hingga menyentuh batasnya lalu putar knob pada saat yang sama searah jarum jam untuk mengatur jumlah cairan. Dalam penelitian ini pelatuk *spray gun* ditekan penuh dan tidak berubah supaya mendapatkan jumlah cairan yang keluar tetap sama (konstan).

2. Pengatur jumlah udara keluar

Biasanya terletak di samping *spray gun* dan berfungsi untuk mengatur jumlah udara yang keluar dalam sekali tekanan pelatuk. Udara bertekanan tersebut akan keluar melalui lubang di ujung *spray gun* dan segera bercampur dengan cairan (air) dan memecahnya menjadi partikel yang kecil (*atomized*). Arah dan ukuran cairan yang bercampur udara tadi diatur oleh lubang angin di ujung *spray gun* (air horn). Knob ini pula yang mengatur lebar dan arah semprotan. Dasar pengaturannya sama dengan Pengatur volume cairan.

3. Pengatur tekanan udara

Ini adalah kontrol terakhir yang bisa digunakan untuk mengatur semprotan. Kontrol ini mengatur besar kecilnya tekanan udara yang masuk melalui *spray gun*. Semakin kecil tekanan yang akan digunakan, semakin besar droplet yang akan dihasilkan.



Gambar 2.8 : *Spray Gun*
 Sumber : www.mnitruckinweb.com

2.6 Diameter Rata-Rata

Diameter rata-rata yang digunakan dalam pengukuran droplet bermacam-macam jenisnya. Dalam penelitian ini diameter rata-rata yang dipakai adalah *Sauter Mean Diameter* (SMD). *Sauter Mean Diameter* (D_{32}) adalah diameter yang diperoleh dari nilai volume per luas permukaan pada seluruh sampel droplet. *Sauter mean diameter* menggunakan volume dan luas permukaan sebagai parameternya sesuai rumus 2.2. Hal ini dikarenakan nilai volume dan luas permukaan sangat dipentingkan dalam perpindahan massa dan reaksi. Volume berpengaruh terhadap massa pada kalor sensibel dan kalor laten sedangkan luas permukaan berpengaruh terhadap laju perpindahan panas.

$$D_{ab} = \left[\frac{\sum N_i D_i^a}{\sum N_i D_i^b} \right]^{1/(a-b)} \quad (\text{Liu, 2000:256}) \quad (2.7)$$

Besarnya nilai a dan b diperoleh dari tabel 2.2

Tabel 2.2 Macam-macam diameter rata-rata dan aplikasinya

| Quantity | Common Name | a | b | Definition | Application |
|-----------------|---|---|---|--|--|
| D ₁₀ | Arithmetic Mean (Length) | 1 | 0 | $\frac{\sum N_i D_i}{\sum N_i}$ | Comparison |
| D ₂₀ | Surface Mean (Surface Area) | 2 | 0 | $\left[\frac{\sum N_i D_i^2}{\sum N_i} \right]^{1/2}$ | Surface Area Controlling |
| D ₂₁ | Length Mean (Surface Area- Length) | 2 | 1 | $\frac{\sum N_i D_i^2}{\sum N_i D_i}$ | Absorption |
| D ₃₁ | Length Mean (Volume-Length) | 3 | 1 | $\left[\frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i} \right]^{1/2}$ | Evaporation, Molecular Diffusion |
| D ₃₂ | Sauter Mean (SMD) | 3 | 2 | $\frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2}$ | Mass Transfer, Reaction |
| D ₄₃ | Herdan Mean (De Brouckere or Herdan) (Weight) | 4 | 3 | $\frac{\sum N_i D_i^4}{\sum N_i D_i^3}$ | Combustion, Equilibrium |

Sumber : Liu (2000:257)

2.7 Hipotesa

Pembakaran harus memiliki unsur segitiga pembakaran yaitu bahan bakar, udara dan energi aktivasi. Energi aktivasi ini bisa berupa panas yang dihasilkan dalam pembakaran. Apabila droplet air melewati api, droplet air akan memadamkan api dengan cara menyerap kalor dari api untuk proses penguapannya, sehingga temperatur api tersebut akan turun dan api akan padam. Semakin kecil ukuran droplet air maka semakin banyak kalor yang diserap dikarena droplet air memiliki luas permukaan yang besar sehingga droplet air akan menyerap kalor lebih banyak dan api akan lebih mudah padam.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental (*true experimental research*). Jenis penelitian ini dapat dipakai untuk menguji suatu perlakuan atau desain baru dengan membandingkan satu atau lebih kelompok penguji dengan perlakuan atau tanpa perlakuan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, dimulai dari bulan Desember 2012 sampai Januari 2013.

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada tiga macam variabel yang digunakan, yaitu :

a. Variabel bebas

Variabel bebas ialah variabel yang besarnya tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah diameter rata-rata droplet air yang dinyatakan dalam *swater mean diameter* (d_{32}) sebesar $69.93 \mu\text{m}$, $53.33 \mu\text{m}$, dan $40.21 \mu\text{m}$.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam pengujian ini, yaitu tinggi api dan massa alir bahan bakar pada saat api padam.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang telah ditentukan nilainya sebelum penelitian dan variabel yang lainnya konstan. Dalam penelitian ini yang bernilai konstan adalah massa alir udara total dalam saluran 15.5 g/s , massa alir air 0.57055 g/s , dan massa alir udara pembakaran $21.536 \times 10^{-3} \text{ g/s}$.

3.4 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kompresor

Digunakan untuk mengalirkan udara bertekanan dari tangki kompresor menuju instalasi pengujian, berfungsi sebagai pemecah aliran air pada *spray gun*

Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

Laju aliran = 96 liter/menit

Putaran = 520 rpm

Tekanan = 7 kg/cm²

Kapasitas = 58 liter

2. Blower

Digunakan untuk membantu mendorong droplet air ke saluran atas dan sebagai *oxidizer*.

Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

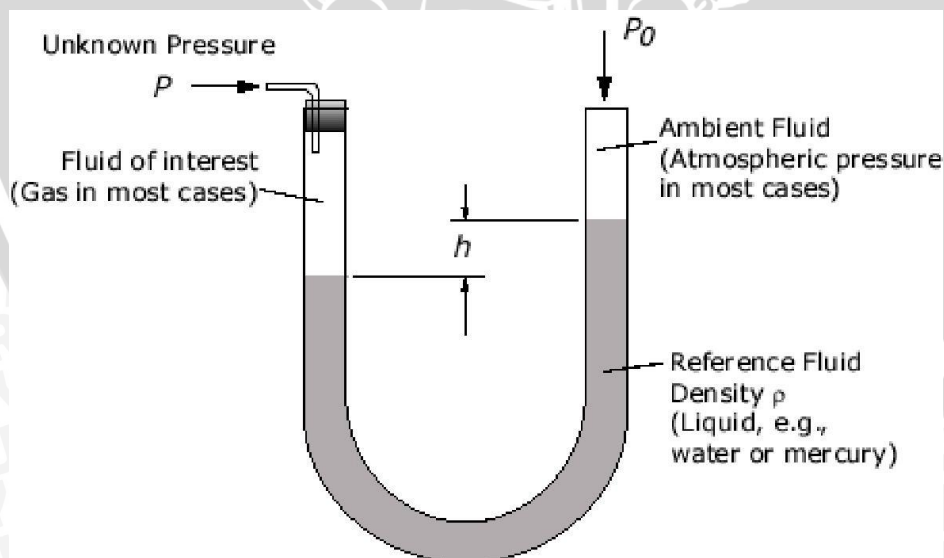
Putaran : 3000 RPM

Volt : 220V

3. Manometer pipa-U

Digunakan untuk mengukur beda tekanan aliran udara dari kompresor dan aliran udara dari blower. Fluida yang digunakan adalah air.

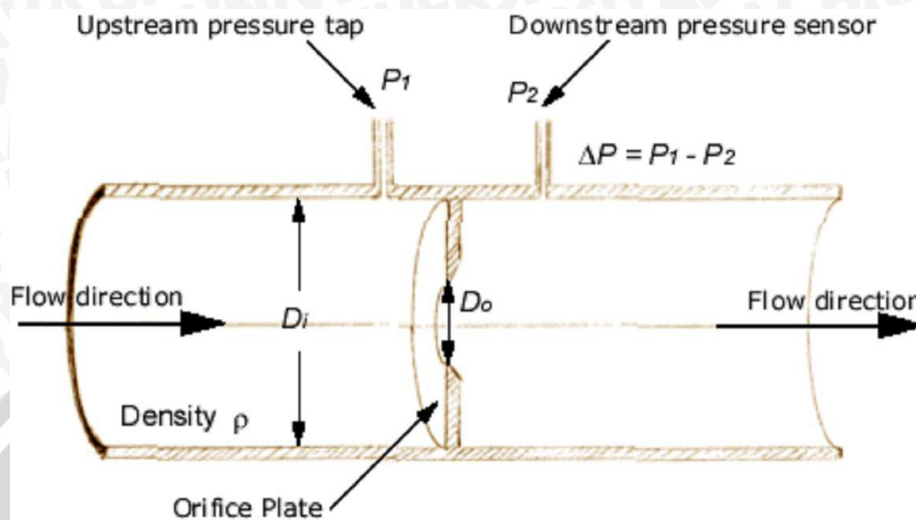
Mekanisme pengukuran beda tekanan pada manometer pipa U:



Gambar 3.1 : Pipa U

Sumber : <http://www.efunda.com/formulae/fluids/manometer.cfm>

Dari gambar diatas terjadi beda ketinggian pada fluida air dikarenakan ujung kedua pipa U tersebut dihubungkan dengan pipa *orifice*. Gambar skema *orifice* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 : Skema *orifice*

Sumber : <http://www.efunda.com/formulae/fluids/manometer.cfm>

Dari gambar 3.2 terlihat skema aliran udara pada *orifice* manometer, dimana aliran udara akan mengalami perbedaan tekanan setelah melewati *orifice plate*. Sehingga udara akan mengalami penurunan tekanan. Perbedaan tekanan udara tersebut akan mengakibatkan perbedaan ketinggian fluida air dalam pipa U. Sehingga dapat dihitung beda tekanan dengan menggunakan rumus :

$$\Delta P = P - P_0 = \rho g \Delta h \quad (\text{Efunda, 2012:1}) \quad (3.1)$$

Keterangan :

ρ = Massa jenis air (1000 kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Δh = Beda ketinggian fluida dalam pipa U (m)

Setelah didapatkan beda tekanan, maka dapat dihitung debit udara yang mengalir dalam saluran udara dengan rumus:

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (\text{Efunda, 2012:2}) \quad (3.2)$$

Keterangan :

ΔP = Beda tekanan (kg/ms^2)

ρ = Masa jenis udara ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

A_2 = Luas penampang dalam pipa (m^2)

A_2 = Luas penampang *orifice* (m^2)

Setelah didapatkan debit aliran udara dalam pipa, dapat dihitung masa alir teoritis udara dalam pipa dengan rumus :

$$\dot{m}_{\text{Teoritis}} = \rho Q \quad (\text{Efunda, 2012:2}) \quad (3.3)$$

Keterangan :

ρ = masa jenis udara ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

Q = Debit udara (m^3)

Sehingga dapat dihitung masa alir udara aktual, dengan rumus:

$$\dot{m}_{\text{Aktual}} = C_d \dot{m}_{\text{Teoritis}} \quad (\text{Efunda, 2012:2}) \quad (3.4)$$

Keterangan :

C_d = *discharge coefficient* yang didapatkan dari gradien garis hubungan grafik dari debit udara teoritis dan debit udara aktual (debit udara dari kalibrasi).

4. LPG

Digunakan sebagai bahan bakar. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah 70% Propana (C_3H_8) dan 30% butana (C_4H_{10})

5. Spray gun

Sebagai *twin fluid atomizer* penghasil droplet air

6. Kamera SLR type Nikon D3100

Digunakan untuk mengambil gambar droplet air saat menumbuk kaca dan juga mengambil gambar tinggi api.

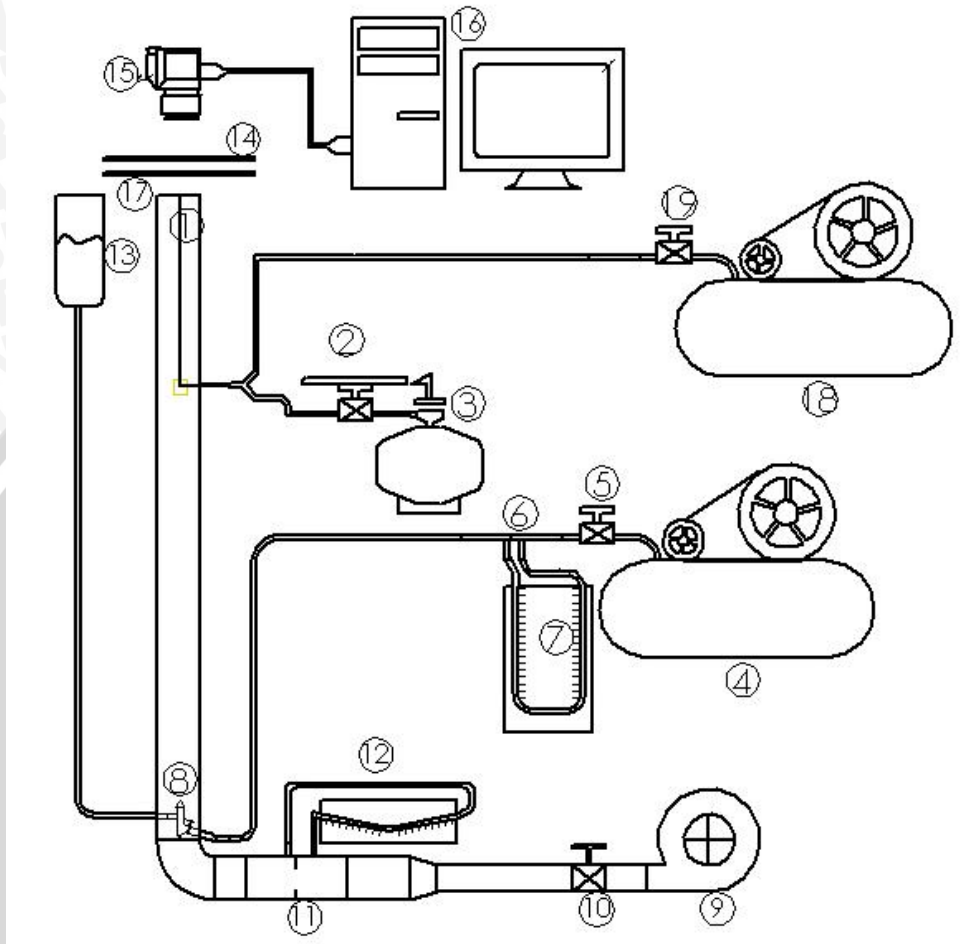
Spesifikasi dari kamera ini adalah sebagai berikut:

sensor CMOS 14 MP (23.2 x 15.5 mm)

HD Video 1920 x 1080p 24 fps dan 1280 x 720p 30 fps/24 fps

3.5 Skema Instalasi Penelitian

Peralatan penelitian disusun menjadi instalasi penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.3 : Skema instalasi penelitian

Keterangan:

1. *Burner*
2. Katup dengan busur derajat
3. Tabung LPG
4. Kompresor (udara pengkabutan)
5. Katup udara kompresor
6. *Orifice* udara kompresor
7. Manometer pipa-u udara kompresor
8. *Spray gun*
9. Blower
10. Katup udara blower

11. Orifice udara blower
12. Manometer pipa-u udara blower dengan kemiringan $\sin\alpha = 0,09934$
13. Tabung penampung air
14. Kaca
15. Kamera
16. Komputer
17. Kayu penghalang
18. Kompresor (udara pembakaran)
19. Katup udara pembakaran

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Prosedur Pengambilan Data Diameter Droplet Air

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data diameter droplet air dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan semua peralatan yang digunakan.
2. Memasang instalasi penelitian sesuai pada skema instalasi penelitian (gambar 3.7) kecuali burner, katup dengan busur derajat dan tabung LPG .
3. Nyalakan kompresor , isi tabung penampung air dengan air, nyalakan blower
4. Untuk membuat droplet berukuran besar, atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometranya sebesar 12 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,117 g/s.
5. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometranya sebesar 78 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,419 g/s.
6. Setelah semua aliran *steady*, nyalakan kamera dengan modus video dan mulai merekam.
7. Buka kayu penghalang sampai aliran droplet menumbuk kaca.
8. Kembalikan kayu penghalang pada posisi semula dan bersihkan kaca.
9. Hentikan perekaman.
10. Setelah didapat video droplet, kemudian video diolah dengan menggunakan komputer.
11. Lakukan pengulangan langkah 7 sampai 10 sebanyak 2 kali.

12. Untuk membuat droplet berukuran sedang, atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometernya sebesar 45 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,2265 g/s.
13. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 77 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,3198 g/s.
14. Lakukan seperti langkah 7 sampai 11.
15. Untuk membuat droplet berukuran kecil, atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometernya sebesar 100 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,3376 g/s.
16. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 76 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,22 g/s.
17. Lakukan seperti langkah 7 sampai 11.

3.6.2 Prosedur Pengambilan Data Massa Alir Bahan Bakar Pada Saat Api Padam

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data massa alir bahan bakar pada saat api padam dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Singkirkan kaca, kamera, komputer dan kayu penghalang
2. Pasang burner, katup dengan busur derajat dan LPG.
3. Untuk pengambilan data tanpa droplet, matikan kompresor udara pengkabutan, buang air pada tabung penampung air, pastikan bahwa aliran yang keluar hanya udara.
4. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 79 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,5175 g/s.
5. Buka katup bahan bakar dengan busur derajat dan katup udara pembakaran, nyalakan api pada burner hingga api terlihat stabil dan api berwarna biru.
6. Setelah semua *steady*, kecilkan katup bahan bakar dengan busur derajat secara perlahan sampai api mati dengan udara pembakaran dijaga konstan.
7. Catat berapa derajat matinya api.
8. Ulangi langkah 5 sampai 7 sebanyak 2 kali.
9. Untuk pengambilan data dengan SMD droplet air sebesar 69.93 μm , nyalakan kompresor pengkabutan, isi air pada tabung penampung air.

10. Atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometernya sebesar 12 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,117 g/s.
11. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 78 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,419 g/s.
12. Lakukan seperti langkah 5 sampai 8.
13. Untuk pengambilan data dengan SMD droplet air sebesar 53.33 μm , atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometernya sebesar 45 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,2265 g/s.
14. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 77 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,3198 g/s.
15. Lakukan seperti langkah 5 sampai 8.
16. Untuk pengambilan data dengan SMD droplet air sebesar 40.21 μm , atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometernya sebesar 100 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,3376 g/s.
17. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 76 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,22 g/s.
18. Lakukan seperti langkah 5 sampai 8.
19. Setelah itu ukur udara pembakaran dan massa alir bahan bakar pada saat padam.

3.6.3 Prosedur Pengambilan Data Tinggi Api

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data tinggi api dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

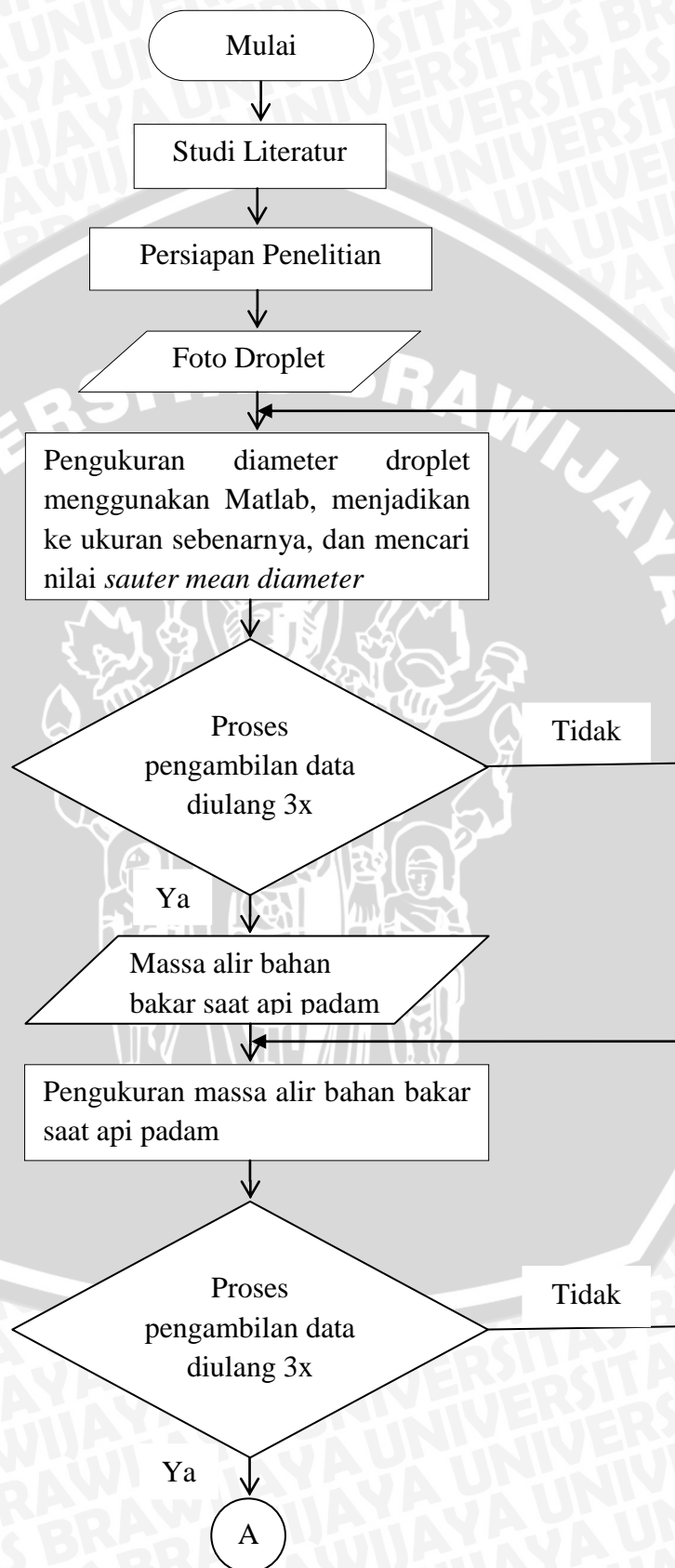
1. Atur katup dengan busur derajat sebesar 120° sehingga massa alir bahan bakar 1.38×10^{-3} g/s dan katup udara pembakaran hingga massa alir udara sebesar 21.536×10^{-3} g/s, setelah itu nyalakan api.
2. Untuk pengambilan data tanpa droplet, matikan kompresor udara pengkabutan, buang air pada tabung penampung air, pastikan bahwa aliran yang keluar hanya udara.
3. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometernya sebesar 79 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,5175 g/s.
4. Ambil gambar 3 kali dengan menggunakan kamera, selanjutnya diolah menggunakan komputer untuk mencari nilai tinggi api.

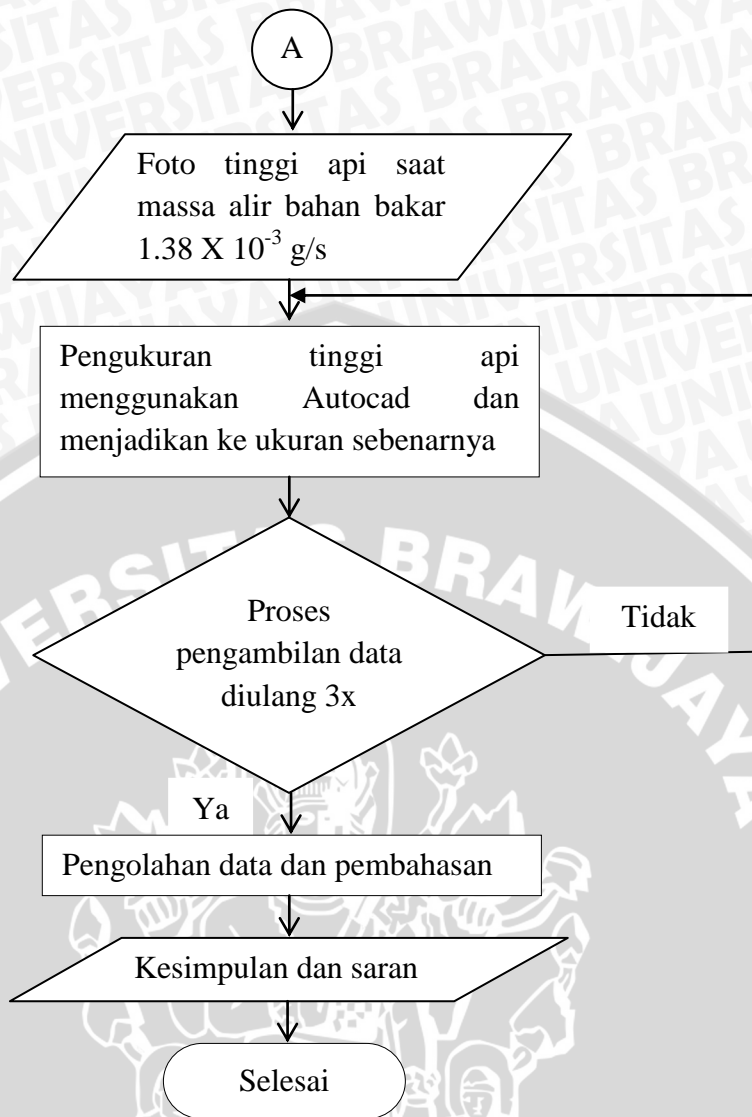
5. Untuk pengambilan data dengan SMD droplet air sebesar $69.93 \mu\text{m}$, nyalakan kompresor pengkabutan, isi air pada tabung penampung air.
6. Atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometranya sebesar 12 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,117 g/s.
7. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometranya sebesar 78 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,419 g/s.
8. Lakukan seperti langkah 4.
9. Untuk pengambilan data dengan SMD droplet air sebesar $53.33 \mu\text{m}$, atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometranya sebesar 45 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,2265 g/s.
10. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometranya sebesar 77 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,3198 g/s.
11. Lakukan seperti langkah 4.
12. Untuk pengambilan data dengan SMD droplet air sebesar $40.21 \mu\text{m}$, atur katup udara kompresor pengkabutan sampai terbaca Δh manometranya sebesar 100 mm sehingga didapatkan massa alir udara kompresor sebesar 0,3376 g/s.
13. Atur katup blower sampai terbaca Δh pada sisi kiri manometranya sebesar 76 mm sehingga didapatkan massa alir udara blower sebesar 15,22 g/s.
14. Lakukan seperti langkah 4.



3.7 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada flowchart dibawah ini :





Gambar 3.4 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran dan Perhitungan Data

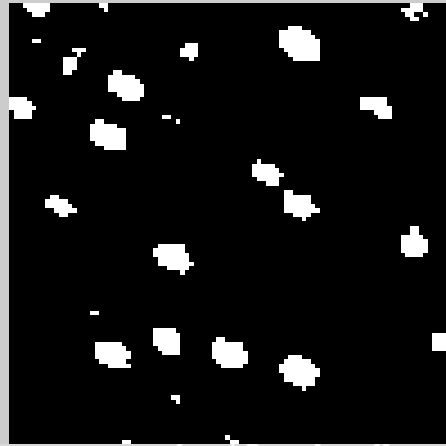
4.1.1 Pengolahan Data Ukuran Droplet Air

Pengukuran diameter droplet air dilakukan terlebih dahulu sebelum pengambilan data tinggi api dan massa alir bahan bakar pada saat padam. Total massa alir udara blower dan udara pengkabutan selalu dijaga konstan dalam saluran udara sebesar 15.5 g/s. Udara blower digunakan untuk membantu menaikkan droplet air ke atas saluran udara. Variasi droplet air didapatkan dengan menggunakan variasi massa alir udara pengkabutan sebesar 0.117 g/s, 0.2265 g/s, dan 0.3376 g/s diikuti perubahan massa alir udara blower sebesar 15.419 g/s, 15.3195 g/s, dan 15.22 g/s untuk mendapatkan massa alir dalam saluran selalu konstan sebesar 15.5 g/s. Sebelum mendapatkan ukuran droplet air (*sauter mean diameter*) terlebih dahulu melakukan pengolahan data ukuran droplet. Pengolahan dilakukan dengan cara, melakukan perekaman droplet air terlebih dahulu dengan menggunakan kamera (memakai modus video), dengan cara *spray gun* yang berada dibagian bawah didalam saluran udara menyemprotkan droplet air ke atas saluran udara dan diatas saluran udara diberikan kaca. Video yang didapat dilakukan pengolahan didalam *software video to JPG* untuk memotong video, diambil foto dimana droplet air pertama kalinya menempel pada kaca.



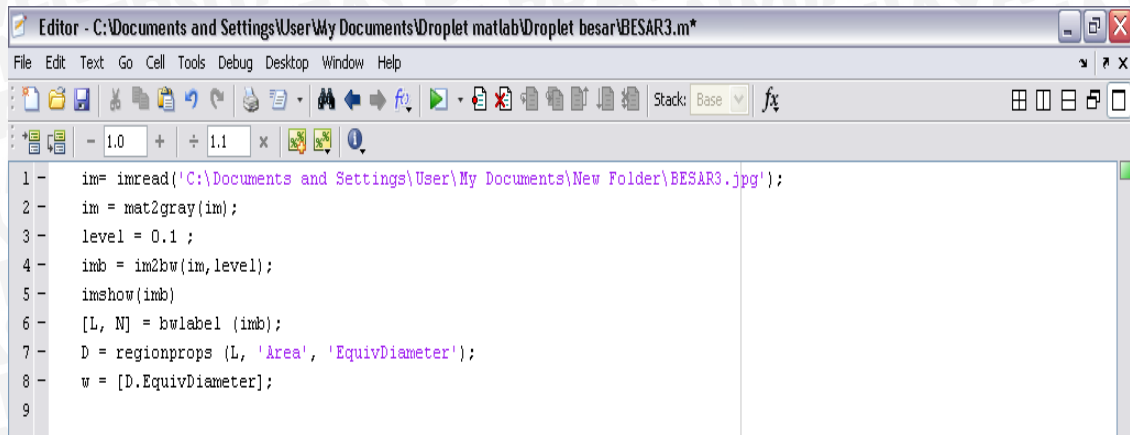
Gambar 4.1 : Droplet air pada kaca

Setelah mendapatkan foto yang sesuai, foto diolah kembali dalam *Software photoscape*. Dalam *software* ini dilakukan pemotongan dari ukuran sebenarnya sebesar 1920 X 1080 *pixel* menjadi 100x100 *pixel* dan setelah itu foto di ubah menjadi warna *black and white* bertujuan untuk mempermudah dalam penghitungan ukuran droplet air.



Gambar 4.2 : Foto berwarna *black and white* berukuran 100x100 *pixel*

Dalam gambar 4.2 terlihat bahwa yang berwarna hitam adalah *background* (kaca) dan yang berwarna putih adalah droplet air. Foto *black and white* yang berukuran 100x100 *pixel* ini diolah kembali dalam *software* matlab. *Software* matlab digunakan untuk mengetahui ukuran setiap droplet air yang terdapat dalam Foto *black and white* yang berukuran 100x100 *pixel*. Dalam matlab dihitung diameter setiap droplet air yang terdapat dalam foto. Matlab adalah suatu program dimana menggunakan program berbahasa *coding*. Foto tersebut dipanggil oleh matlab dan dikondisikan sedemikian rupa hingga membaca setiap droplet air yang ada difoto hingga mendapatkan ukuran diameter droplet air masing-masing dengan menggunakan *coding* dalam matlab.



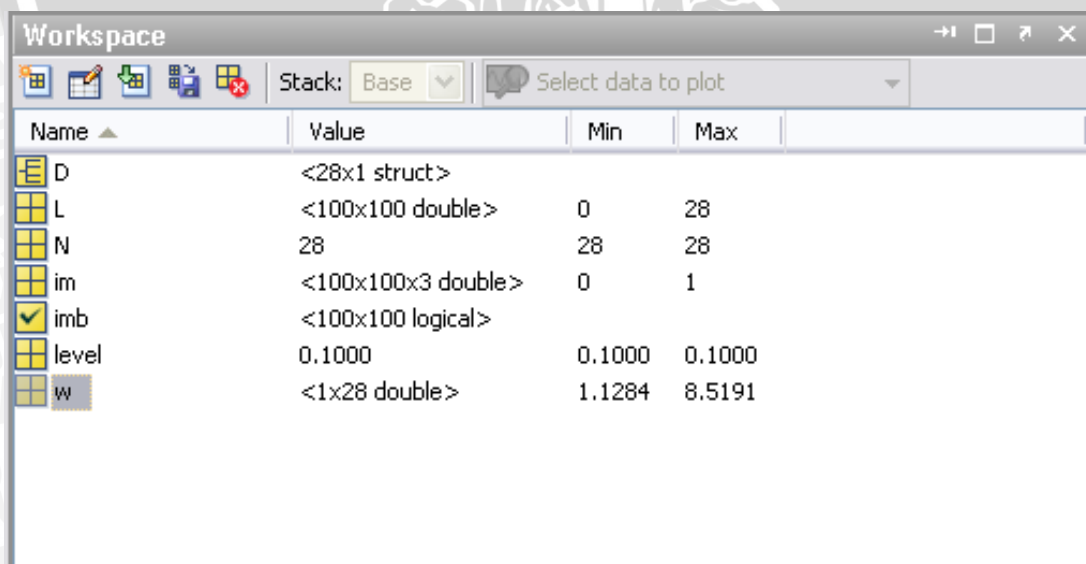
```

1 - im = imread('C:\Documents and Settings\User\My Documents\New Folder\BESAR3.jpg');
2 - im = mat2gray(im);
3 - level = 0.1 ;
4 - imb = im2bw(im, level);
5 - imshow(imb)
6 - [L, N] = bwlabel (imb);
7 - D = regionprops (L, 'Area', 'EquivDiameter');
8 - w = [D.EquivDiameter];
9

```

Gambar 4.3 : Coding Editor

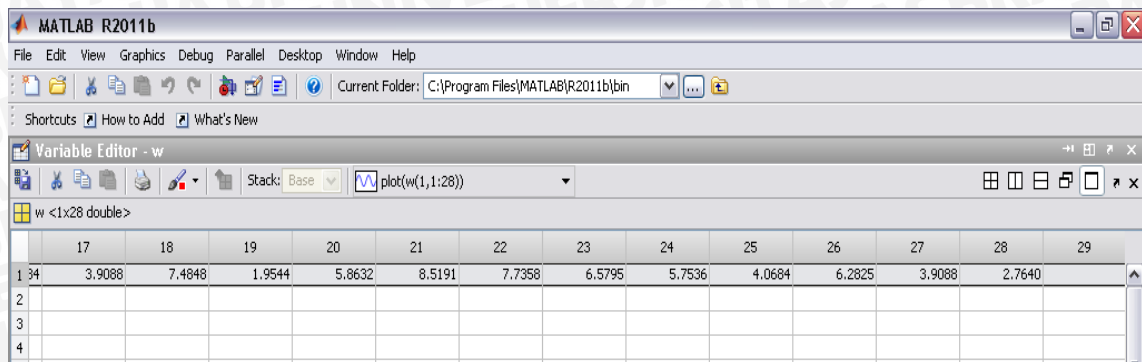
Dalam *coding* terlihat pemanggilan foto terlebih dahulu dengan menggunakan *coding* “`imread`”, dimana matlab memanggil foto yang berada dalam folder penyimpanan. Setelah itu membaca foto dengan menggunakan bilangan binary dimana berwarna hitam adalah 0 dan berwarna putih adalah 1. Pembacaan bilangan binary ini disebabkan oleh perintah *coding* “[L, N] = `bwlabel` (imb)” dimana “bw” dimaksudkan adalah *black and white*. Apabila matlab sudah membaca hitam dan putih setelah itu dengan menggunakan *coding* “`EquivDiameter`” yang berarti bahwa setiap daerah berwarna putih akan dibaca oleh matlab berupa ukuran diameter. Ukuran droplet akan dinyatakan pada *coding* “w” dimana “w” menyimpan semua data ukuran diameter yang terdapat dalam *workspace* yang ada dalam matlab.



| Name | Value | Min | Max |
|-------|--------------------|--------|--------|
| D | <28x1 struct> | | |
| L | <100x100 double> | 0 | 28 |
| N | 28 | 28 | 28 |
| im | <100x100x3 double> | 0 | 1 |
| imb | <100x100 logical> | | |
| level | 0.1000 | 0.1000 | 0.1000 |
| w | <1x28 double> | 1.1284 | 8.5191 |

Gambar 4.4 : Workspace

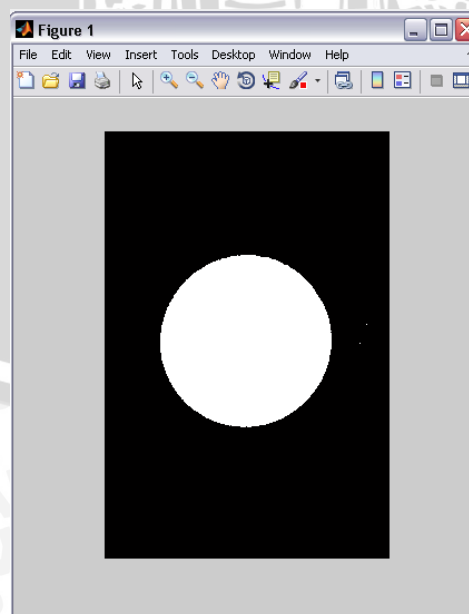
Dalam “w” terdapat 28 data ukuran diameter yang berarti matlab membaca bahwa ada 28 droplet air yang terdapat dalam foto, namun ukuran diameter droplet air ini adalah ukuran diameter dalam *pixel*.



| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 1 | 3.9088 | 7.4848 | 1.9544 | 5.8632 | 8.5191 | 7.7358 | 6.5795 | 5.7536 | 4.0684 | 6.2825 | 3.9088 | 2.7640 | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |

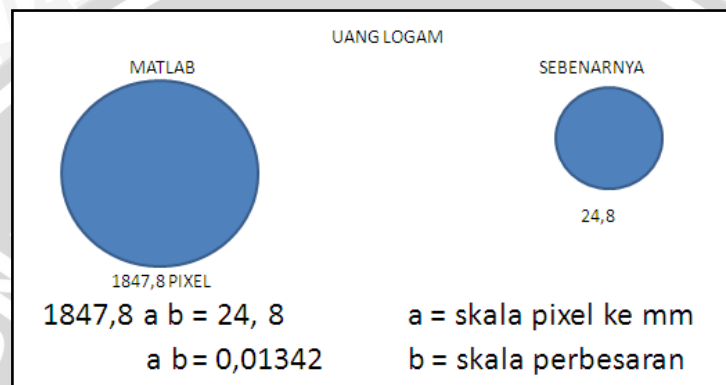
Gambar 4.5 : Variabel Editor “w”

Data-data yang terdapat dalam *variabel editor* dipindahkan semua kedalam *Microsoft excel*. Namun sebelum dipindahkan kedalam *excel* kita harus mengerti terlebih dahulu ukuran asli setiap diameter droplet air. Setiap kamera memiliki ukuran *pixel* dan pembesaran yang berbeda-beda sehingga kita harus mengerti ukuran setiap 1 *pixel* dalam foto untuk ukuran sebenarnya(mm). Untuk menghitung ukuran setiap 1 *pixel* dan pembesaran terjadi, yang dilakukan dengan cara memfoto ukuran koin yang diletakan di kaca dengan posisi kamera dan pembesaran dilakukan sama seperti yang dilakukan pada droplet air. Koin diolah sama seperti yang dilakukan untuk mengolah droplet air dimana foto koin juga diolah dalam *photoscape* dan diolah dalam matlab.



Gambar 4.6 : Koin

Setelah melakukan pengukuran pada koin diketahui bahwa ukuran koin tersebut dalam foto sebesar 1847.82 *pixel*. Dalam ukuran sebenarnya koin tersebut diukur dengan menggunakan penggaris sebesar 24.8mm. Untuk mengubah ukuran *pixel* kedalam ukuran sebenarnya ukuran *pixel* dikalikan dengan parameter peubah *pixel* menjadi mm senilai a dan pembesaran senilai b sehingga didapatkan persamaan $1847.82 \text{ (pixel)} \times a \times b = 24.8 \text{ mm}$. nilai a dan b didapat sebesar $ab = 0.01342$, sehingga diketahui untuk mengkonversi ukuran dari *pixel* menjadi ukuran sebenarnya dengan menggunakan variabel ab.



Gambar 4.7 : Konversi *pixel* menjadi ukuran sebenarnya

Setelah mendapatkan variabel ab, ukuran droplet air yang sudah dipindahkan kedalam *excel* akan dikalikan dengan variabel ab untuk mendapatkan ukuran droplet yang sebenarnya.

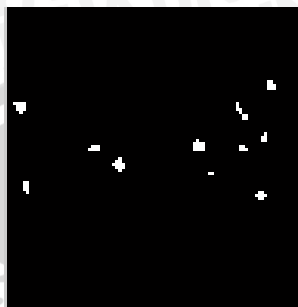
Setelah mendapatkan ukuran sebenarnya pada setiap droplet air, diameter droplet air akan diolah menjadi ukuran *sauter mean diameter*. *Sauter mean diameter* diperoleh dengan cara setiap ukuran diameter droplet air dipangkatkan 3 dan dibagi dengan ukuran setiap droplet dipangkatkan 2 setelah itu dirata-rata sehingga mendapatkan nilai *sauter mean diameter* sesuai dengan persamaan 2.7.

Droplet air memiliki ukuran yang berbeda-beda (*polydisperse*). Oleh karena itu dicari rata-ratanya agar memudahkan dalam menghubungkan dengan parameter lainnya. Diameter rata-rata bermacam-macam, dalam penelitian ini menggunakan *sauter mean diameter* (SMD) karena SMD membandingkan antara volume dan luas permukaan. Volume merupakan parameter penguapan air karena pada persamaan kalor sensibel dan kalor laten terdapat massa. Massa merupakan volume dikalikan dengan massa jenis zat. Luas permukaan merupakan parameter laju perpindahan panas secara konveksi.

Sebelum mengkonvert nilai dari matlab menjadi nilai sebenarnya, dilakukan terlebih dahulu pengecekan dimana untuk mengetahui apakah semua titik-titik putih

dalam foto *black and white* merupakan droplet. Pengecekan dilakukan dengan menggunakan cara statistika yaitu dengan menggunakan uji t.

Pada saat \dot{m} udara dari kompresor = 0,3376 g/s , \dot{m} udara dari blower = 15,22 g/s, \dot{m} air = 0.57055 g/s menghasilkan foto *black and white* seperti pada gambar 4.8 dan dilakukan uji validasi data.



Gambar 4.8 : Foto Droplet dengan \dot{m} udara dari kompresor sebesar 0,3376 g/s

Tabel 4.1 Data droplet air dengan \dot{m} udara dari kompresor sebesar 0,3376 g/s

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----------|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 3,742410319 | 0,657472 | 0,43227 |
| 2 | 2,985410661 | -0,09953 | 0,009906 |
| 3 | 2,985410661 | -0,09953 | 0,009906 |
| 4 | 3,742410319 | 0,657472 | 0,43227 |
| 5 | 4,068428945 | 0,983491 | 0,967254 |
| 6 | 1,595769122 | -1,48917 | 2,217624 |
| 7 | 3,385137501 | 0,3002 | 0,09012 |
| 8 | 2,523132522 | -0,56181 | 0,315625 |
| 9 | 3,191538243 | 0,1066 | 0,011364 |
| 10 | 2,523132522 | -0,56181 | 0,315625 |
| 11 | 3,191538243 | 0,1066 | 0,011364 |
| Σ | 33,93432 | | 4,813 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 33,93432$$

$$\bar{x} = \frac{33,93432}{11}$$

$$\bar{x} = 3,084$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 4,813$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 0,693$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{0,693}{\sqrt{11}}$$

$$= \frac{0,693}{3,317}$$

$$= 0,21$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$

- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 11-1$$

$$= 10$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 10)$

$$t(0,025; 10) = 2,228$$

- interval

$$\bar{x} - \left\{ t \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\}$$

$$3,084 - (2,228)0,21 \leq x \leq 3,084 + (2,228)0,21$$

$$2,50 \leq x \leq 3,30$$

Tabel 4.2 Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| JUMLAH | | | 0,000363402 | 0,009172 |
| SMD | | | 0,03962 | |

Pengolahan dan pengukuran data diameter droplet air dilakukan masing-masing 3 kali dengan 3 variasi massa alir udara pengkabutan dan memperoleh ukuran rata-rata *sauter mean diameter* (SMD) sebesar $40.21 \mu\text{m}$, $53.33 \mu\text{m}$, dan $69.93 \mu\text{m}$.

Tabel 4.3 Data Rata-Rata SMD

| | SMD Besar (μm) | SMD Sedang (μm) | SMD Kecil (μm) |
|------------------|---|--|---|
| | 64.82 | 51.95 | 39.62 |
| | 67.83 | 52.97 | 43.1 |
| | 73.54 | 55.09 | 37.91 |
| Rata-Rata | 69.93 | 53.33 | 40.21 |

4.1.2 Data dan Perhitungan Tinggi Api

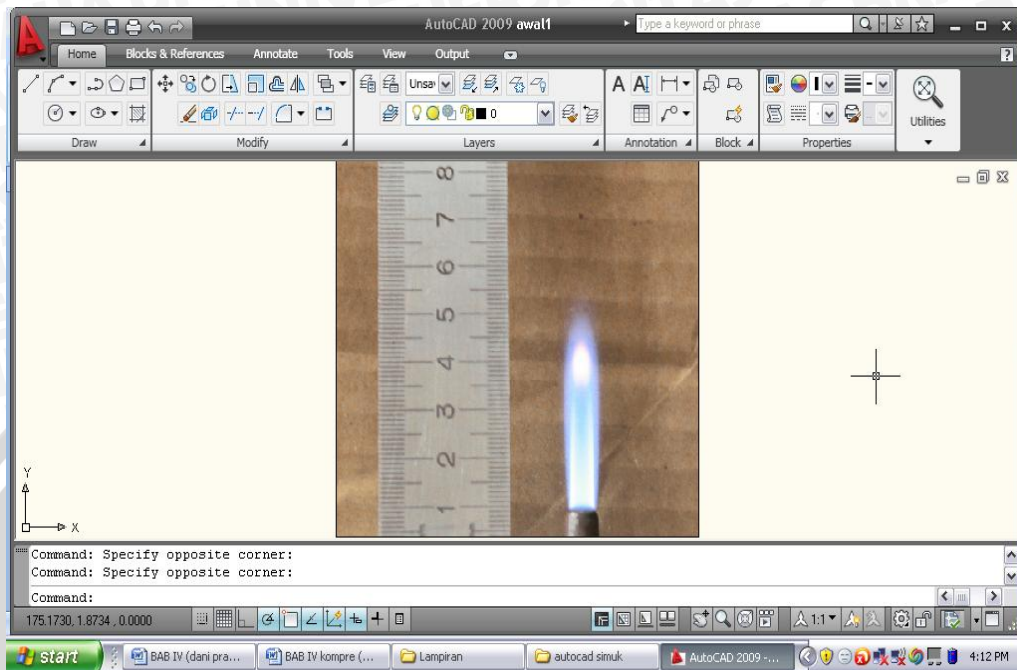
Pengambilan data pada tinggi api dilakukan dengan cara memfoto api *premixed* pada saat api pada kondisi massa alir udara pembakaran sebesar $21.536 \times 10^{-3} \text{ g/s}$ dibanding dengan massa alir bahan bakar sebesar $1.38 \times 10^{-3} \text{ g/s}$, di samping api juga terdapat penggaris untuk dijadikan perbandingan mengubah ke ukuran sebenarnya. Tinggi api diukur dari ujung burner ke puncak api menggunakan software Autocad. Tinggi api pada Autocad merupakan pengecilan dari gambar ukuran sebenarnya. Untuk itu diperlukan penggaris yang telah diketahui panjangnya sebelumnya. Kemudian penggaris tersebut diukur menggunakan Autocad. Nilai skala perbesaran pada Autocad dijadikan dasar untuk merubah satuan pada Autocad sehingga didapatkan ukuran sebenarnya.

$$10 \text{ mm (pada gambar nyata)} = 2.1506 \text{ mm (pada Autocad)} \times \text{skala perbesaran}$$

$$\text{Skala perbesaran} = 4.6499$$

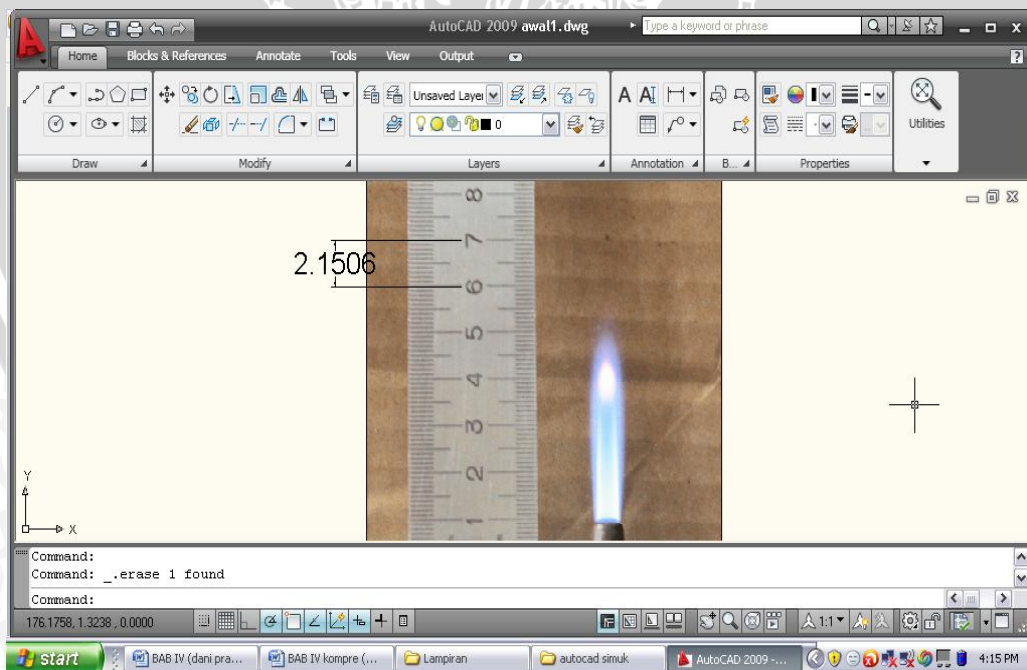
Langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung tinggi api sebenarnya pada Autocad adalah sebagai berikut:

1. Masukan file gambar ke program Autocad.



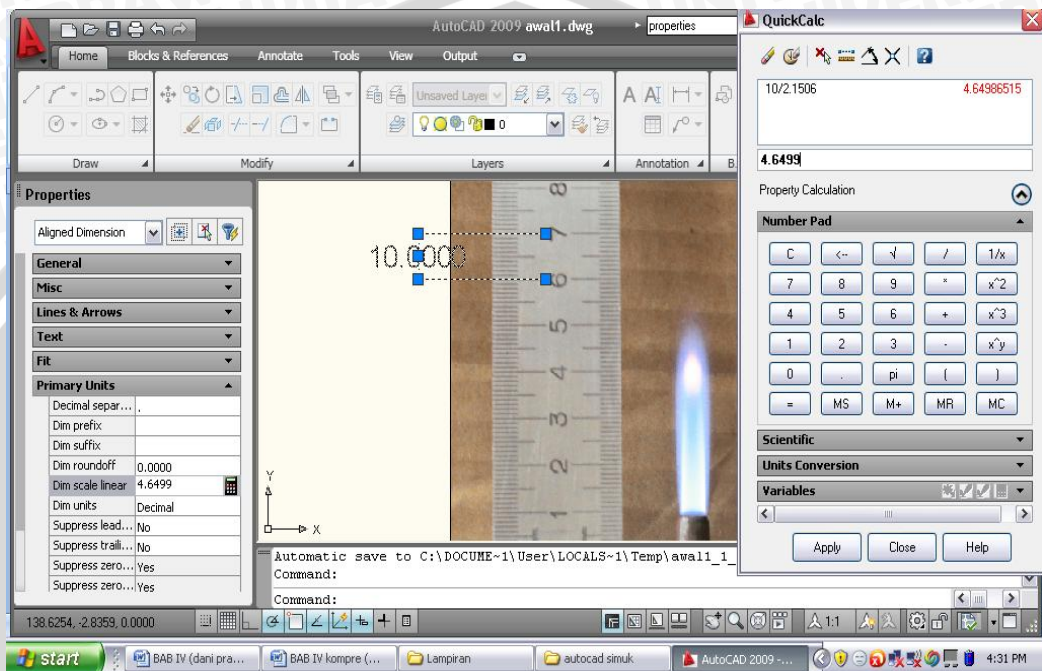
Gambar 4.9 : Proses memasukan file gambar ke program Autocad

2. Ukur 10 mm pada penggaris menggunakan *linear dimension*.



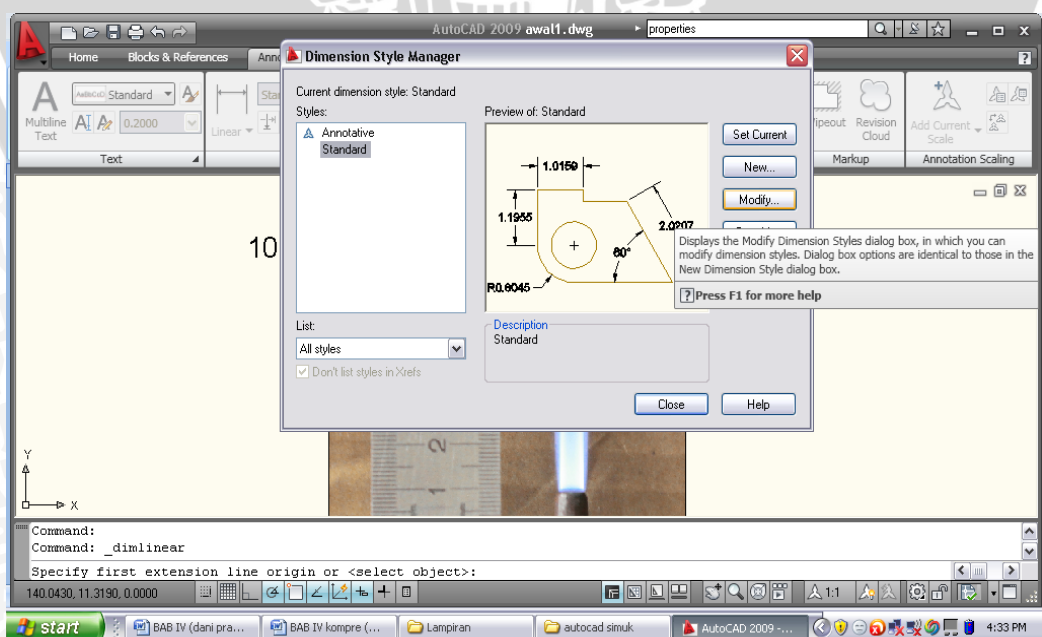
Gambar 4.10 : Proses pengukuran penggaris menggunakan *linear dimension*

3. Ubah *dimension scale linear* pada *properties dimension* untuk merubah *dimension* pada penggaris menjadi ukuran sebenarnya. Klik *QuickCalc*, kemudian masukkan nilai 10 kemudian dibagi dengan nilai *linear dimension* pada penggaris. Setelah di apply didapatkan nilai perhitungan tersebut pada *dimension scale linear* yang merupakan skala perbesaran pada gambar untuk merubah ke ukuran sebenarnya.



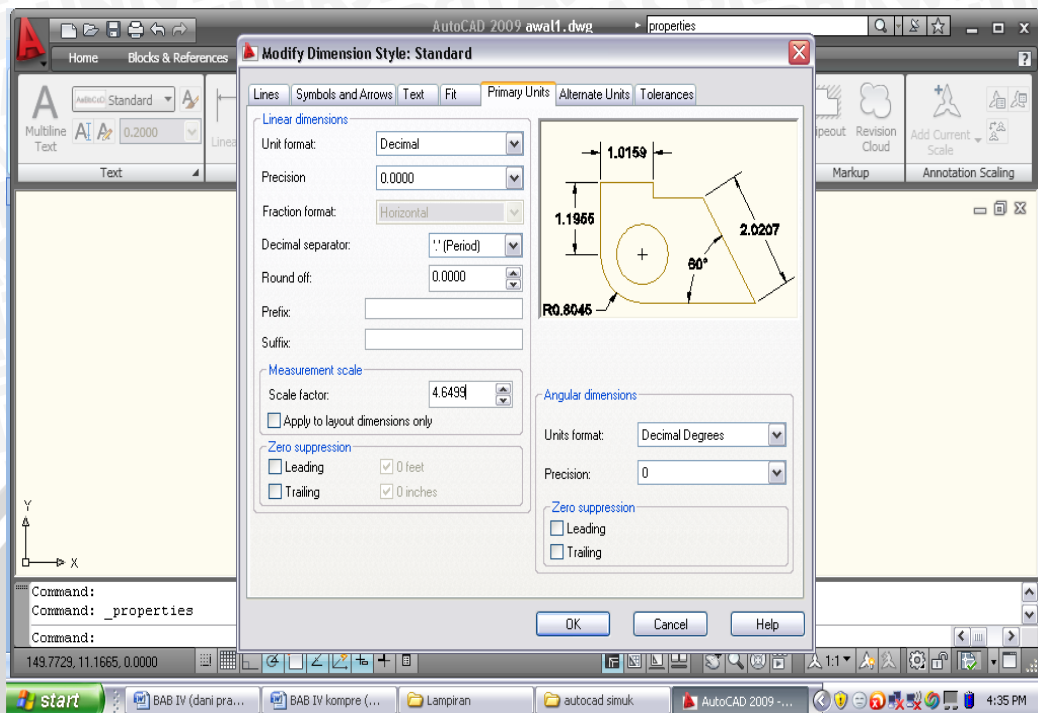
Gambar 4.11 : Proses merubah ukuran penggaris menjadi ukuran sebenarnya

4. Ubah satuan foto ke ukuran sebenarnya dengan cara masuk ke *dimension style manager*. Kemudian klik *modify*.



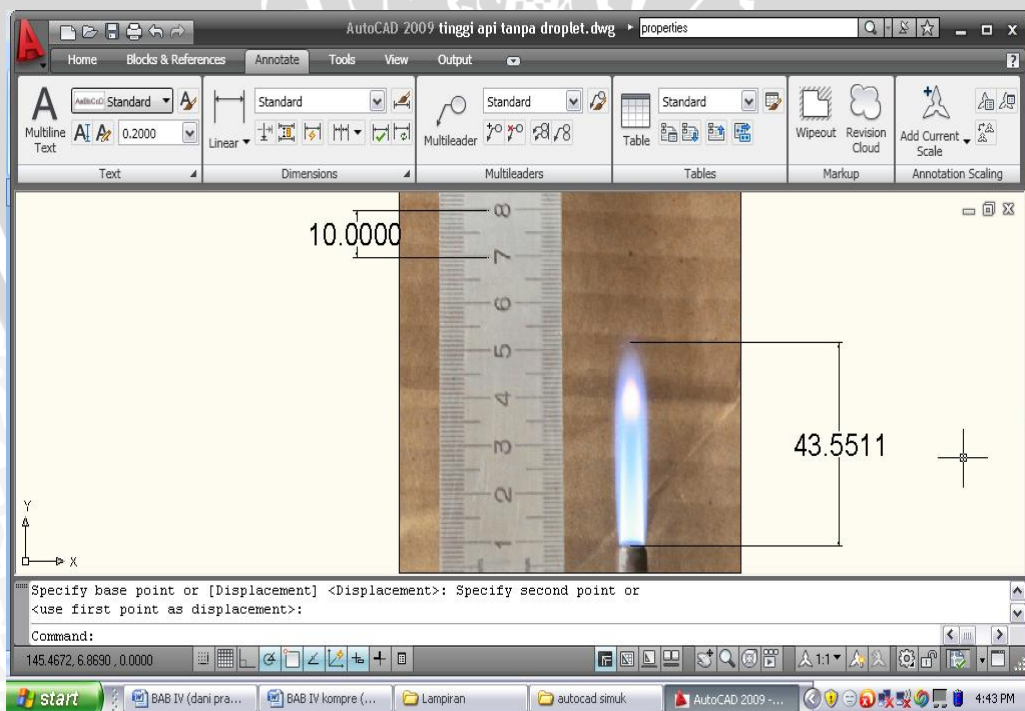
Gambar 4.12 : Proses modifikasi proses *dimension style manager*

5. Pada tab *primary unit* ubah *scale faktor* sama dengan nilai *dimension scale linear*. Setelah dirubah satuan foto akan sama dengan ukuran sebenarnya.



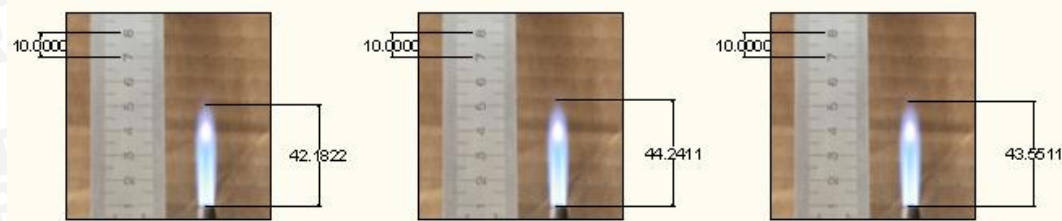
Gambar 4.13 : Proses merubah satuan foto ke ukuran sebenarnya

6. Ukur tinggi api menggunakan *linear dimension*. Tinggi api yang didapat merupakan ukuran sebenarnya.

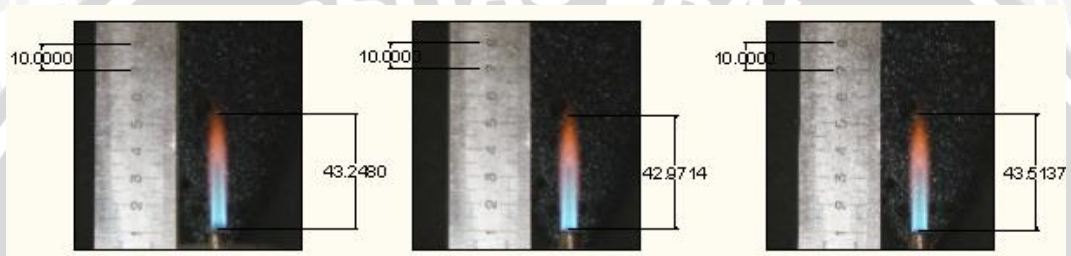


Gambar 4.14 : Proses pengukuran tinggi api menggunakan *linear dimension*

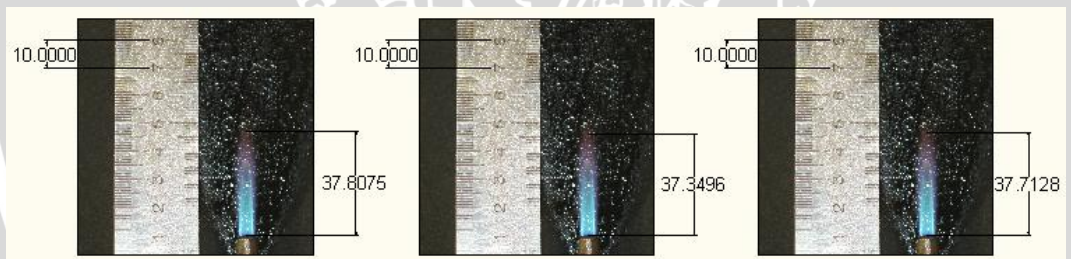
Pengukuran dilakukan 3 kali pengambilan data dengan melakukan 4 variasi pengukuran dimana variasinya tinggi api terhadap droplet air berukuran $40.21 \mu\text{m}$, $53.33 \mu\text{m}$, $69.93 \mu\text{m}$ dan tinggi api tanpa menggunakan droplet air. Sehingga didapatkan nilai rata-rata dari setiap variasi.



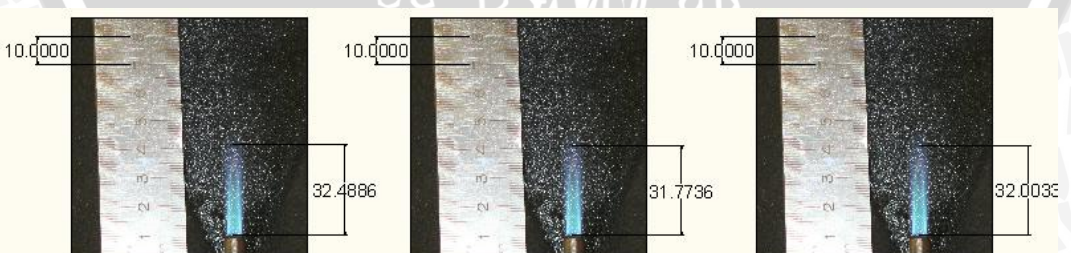
Gambar 4.15 : Tinggi Api Tanpa Droplet Air



Gambar 4.16 : Tinggi Api dengan Menggunakan Droplet Air $69.93 \mu\text{m}$



Gambar 4.17 : Tinggi Api dengan Menggunakan Droplet Air $53.33 \mu\text{m}$



Gambar 4.18 : Tinggi Api dengan Menggunakan Droplet Air $40.21 \mu\text{m}$

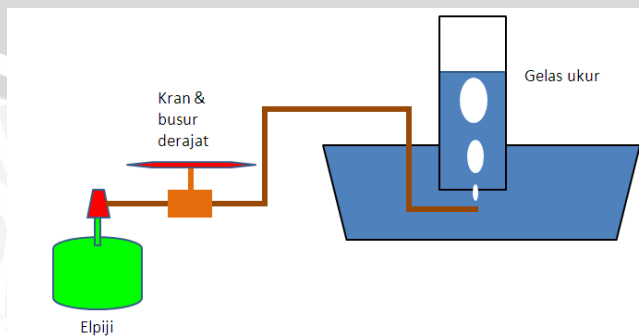
Tabel 4.4 Data Perbandingan Tinggi Api

| Tinggi api tanpa droplet air (mm) | Tinggi api dengan droplet air (mm) | | | Tinggi api dengan droplet air / tinggi api tanpa droplet air (h_n/h_a) | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------|---------------|--|---------------|---------------|
| | 40.21 μm | 53.33 μm | 69.93 μm | 40.21 μm | 53.33 μm | 69.93 μm |
| 42.1822 | 32.488 | 37.807 | 43.248 | 0.77 | 0.89 | 1.025 |
| 44.2411 | 31.773 | 37.249 | 44.971 | 0.72 | 0.84 | 0.97 |
| 43.5511 | 32.003 | 37.712 | 43.513 | 0.73 | 0.86 | 0.99 |
| Rata-rata | | | | 0.727 | 0.826 | 0.99 |

4.1.3 Data dan Perhitungan Massa Alir Bahan Bakar Saat Padam

Massa alir bahan bakar dikecilkan sampai padam dengan menggunakan stop kran. Stop kran ditempelkan busur derajat sebagai penanda pada derajat keberapa api akan padam. Pengambilan data untuk pemadaman ini dilakukan 3 kali pengambilan data dengan 4 variasi yang dilakukan massa alir bahan bakar pada saat padam dengan menggunakan droplet air berukuran 40.21 μm , 53.33 μm , 69.93 μm dan massa alir bahan bakar saat padam tanpa menggunakan droplet air.

Setelah mengetahui nilai derajat yang ditunjukkan oleh busur derajat maka dilakukan perhitungan massa alir bahan bakar dengan menggunakan gelembung-gelembung yang ada pada air. Digunakannya gelas ukur yang di isi air terisi penuh dan dialiri bahan bakar dengan derajat stop kran yang telah didapatkan sebelumnya. Bahan bakar memiliki densitas lebih rendah dari pada air sehingga bahan bakar akan mengisi tempat lebih tinggi dan air akan mengalir turun dan lama kelamaan air akan habis. Volume udara yang terjebak dicatat menggunakan stopwatch sehingga dihasilkan debit bahan bakar.



Gambar 4.19 : Pengukuran debit bahan bakar

Penghitungan debit bahan bakar dilakukan 3 kali pengambilan data pada setiap variasi yang dilakukan. Setelah mendapatkan debit bahan bakar maka dapat dihitung massa alir bahan bakar dengan cara debit bahan bakar dikalikan dengan densitas bahan bakar. Dimana densitas bahan bakar gas LPG sebesar 2.21 Kg/M^3 dalam keadaan STP.

Contoh perhitungan massa alir bahan bakar :

$$\begin{aligned}
 \text{Pada saat bukaan katup } 40^\circ : V &= 50 \text{ ml} \\
 t &= 189.5 \text{ s} \\
 Q &= V / t \\
 &= 0.263852243 \text{ ml/s} \\
 \dot{m} &= Q \times \rho \\
 &= 0.263852243 \text{ ml/s} \times 2.21 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 0.000583113 \text{ g/s}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Debit bahan bakar pada saat padam dengan bukaan katup busur derajat

| Droplet Air (μm) | Bukaan Katup ($^\circ$) | Volume (ml) | Time (s) | Debit (ml/s) |
|-------------------------------|---------------------------|-------------|----------|--------------|
| tanpa | 40 | 50 | 189.5 | 0.263852243 |
| | 40 | 50 | 198.11 | 0.252385039 |
| | 40 | 50 | 199.03 | 0.251218409 |
| 69.93 | 64 | 50 | 109.07 | 0.458421197 |
| | 64 | 50 | 111.05 | 0.450247636 |
| | 64 | 50 | 112.93 | 0.442752147 |
| 53.33 | 70 | 50 | 93.71 | 0.533560986 |
| | 70 | 50 | 94.93 | 0.526703887 |
| | 70 | 50 | 94.04 | 0.531688643 |
| 40.21 | 80 | 50 | 82.5 | 0.606060606 |
| | 80 | 50 | 82.89 | 0.603209072 |
| | 80 | 50 | 82.92 | 0.602990835 |

Tabel 4.6 Massa alir bahan bakar pada saat padam

| Droplet Air (μm) | Debit (ml/s) | Densitas (Kg/m^3) | Massa alir (g/s) |
|-------------------------------|--------------|------------------------------|------------------|
| tanpa | 0.263852243 | 2.21 | 0.000583113 |
| | 0.252385039 | 2.21 | 0.000557771 |
| | 0.251218409 | 2.21 | 0.000555193 |
| Rata-Rata | | | 0.000565359 |
| 69.93 | 0.458421197 | 2.21 | 0.001013111 |
| | 0.450247636 | 2.21 | 0.000995047 |
| | 0.442752147 | 2.21 | 0.000978482 |
| Rata-Rata | | | 0.000995547 |
| 53.33 | 0.533560986 | 2.21 | 0.00117917 |
| | 0.526703887 | 2.21 | 0.001164016 |
| | 0.531688643 | 2.21 | 0.001175032 |
| Rata-Rata | | | 0.001172739 |
| 40.21 | 0.606060606 | 2.21 | 0.001339394 |
| | 0.603209072 | 2.21 | 0.001333092 |
| | 0.602990835 | 2.21 | 0.00133261 |
| Rata-Rata | | | 0.001335032 |

Tabel 4.7 Data Perbandingan Massa Alir Bahan Bakar Pada Saat Padam

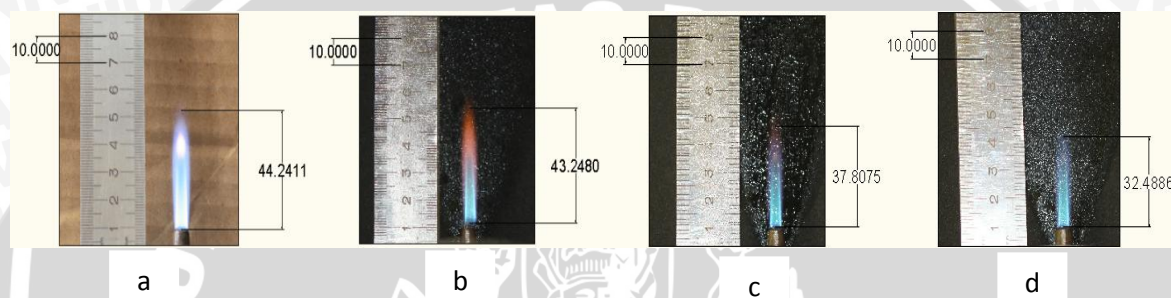
| Massa alir BB pada saat api padam tanpa menggunakan droplet air (g/s) | Massa alir BB pada saat api padam dengan menggunakan Droplet air | | | Massa alir BB pada saat api padam dengan droplet air / massa alir BB pada saat api padam tanpa Droplet air $\dot{m}_{bn} / \dot{m}_{ba}$ | | |
|---|--|---------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------|
| | (g/s) | | | | | |
| | 40.21 μm | 53.33 μm | 69.93 μm | 40.21 μm | 53.33 μm | 69.93 μm |
| 0.00058 | 0.0013394 | 0.00118 | 0.00101 | 2.296 | 2.022 | 1.737 |
| 0.00056 | 0.0013331 | 0.00116 | 0.001 | 2.390 | 2.087 | 1.784 |
| 0.00056 | 0.0013326 | 0.00118 | 0.00098 | 2.400 | 2.116 | 1.762 |
| Rata-rata | | | | 2.362 | 2.075 | 1.761 |

4.2 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk menganalisis data hasil penelitian tinggi api dan massa alir bahan bakar pada saat padam dengan berbagai variasi ukuran diameter droplet air.

4.2.1 Hubungan Ukuran Diameter Droplet Air terhadap Perbandingan Antara Tinggi Api dengan Menggunakan Droplet Air / Tinggi Api Tanpa Menggunakan Droplet Air

Variasi droplet air terhadap tinggi api sangat berpengaruh. Terlihat pada gambar 4.20 terdapat perbedaan tinggi api ketika api dialiri dengan variasi droplet air dan tanpa dialiri dengan droplet air.



Gambar 4.20: Perbedaan tinggi api ; tanpa droplet air (a), droplet air $69.93 \mu\text{m}$ (b), droplet air $53.33 \mu\text{m}$ (c), dan droplet air $40.21 \mu\text{m}$ (d)

Terlihat pada gambar 4.20 bahwa variasi droplet air memiliki pengaruh terhadap tinggi api dimana pada gambar 4.20 (a) adalah gambar tinggi api tanpa dialiri droplet air, (b) adalah tinggi api dengan dialiri droplet air berukuran $69.93 \mu\text{m}$, (c) adalah tinggi api dengan dialiri droplet air berukuran $53.33 \mu\text{m}$, dan (d) adalah tinggi api dengan dialiri droplet air berukuran $40.21 \mu\text{m}$ dengan masing-masing diukur pada saat keadaan massa alir udara pembakaran $21.536 \times 10^{-3} \text{ g/s}$ / massa alir bahan bakar sebesar 0.00138 g/s . AFR dihitung pada saat sebelum terjadi pembakaran.

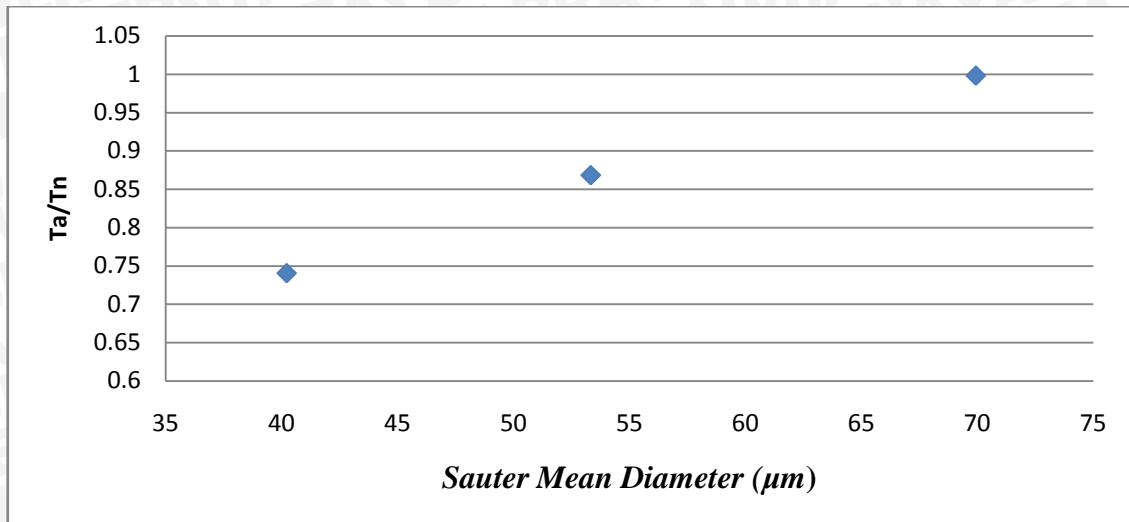
Pada gambar 4.20 (a) terlihat bahwa api memiliki tinggi api sebesar 42.1822 mm dan api berwarna biru dimana yang kita ketahui api biru merupakan api yang dihasilkan dari pembakaran yang sempurna karena kalor yang terdapat dalam api mampu membakar semua campuran udara dan bahan bakar. Terdapat perbedaan ketika dialiri droplet air berukuran $69.93 \mu\text{m}$, api akan mengalami perubahan baik perubahan tinggi api dan warna api (gambar 4.20 (b)). Terlihat api mengalami perubahan warna, api tidak berwarna biru semua melainkan terdapat juga api berwarna merah. Keadaan ini disebabkan karena droplet air mengambil kalor yang terdapat dalam api namun hanya sedikit yang mampu diserap sehingga api mengalami penurunan temperatur. Penurunan

temperatur yang terjadi pada api menyebabkan api berwarna merah karena api kekurangan kalor untuk melakukan pembakaran yang sempurna sehingga adanya bahan bakar yang tidak terbakar. Namun tinggi api tidak mengalami perubahan secara signifikan, tinggi api hampir sama dengan tinggi api tanpa dialiri droplet dikarenakan api akan mengalami perubahan warna terlebih dahulu sebelum mengalami penurunan tinggi api.

Lain halnya pada gambar 4.20 (c) terlihat tinggi api semakin pendek dibandingkan dengan tinggi api pada gambar (a) dan (b). ini disebabkan droplet air berukuran $53.33 \mu\text{m}$ mampu mengambil kalor dalam api lebih banyak dibandingkan dengan droplet air berukuran $69.93 \mu\text{m}$, sehingga api tidak bisa membakar semua bahan bakar melainkan hanya mampu membakar bahan bakar dengan tinggi api sebesar 37.8075 mm namun pembakaran masih bisa berlangsung pada daerah tinggi api tersebut dan api berwarna biru.

Pada gambar 4.20 (d) dengan dialiri droplet air berukuran $51.44 \mu\text{m}$ memiliki tinggi api yang paling kecil disebabkan droplet air berukuran $51.44 \mu\text{m}$ memiliki kemampuan menyerap kalor api lebih banyak dibandingkan dengan droplet yang lain. Semakin kecil ukuran droplet air maka semakin besar luas permukaan yang dibentuk, semakin besar luas permukaan yang terbentuk maka semakin besar laju perpindahan panas maka semakin banyak kalor yang diserap droplet air. Oleh sebab itu sisa kalor yang masih terdapat dalam api hanya mampu membakar bahan bakar dengan tinggi api sebesar 32.4886 mm dan masih mampu menghasilkan api berwarna biru.

Berdasarkan tabel 4.4, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata perbandingan tinggi api semakin besar seiring bertambah besarnya ukuran droplet air, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.20.



Gambar 4.21 : Pengaruh diameter droplet air terhadap tinggi api dengan menggunakan droplet air / tinggi api tanpa droplet air

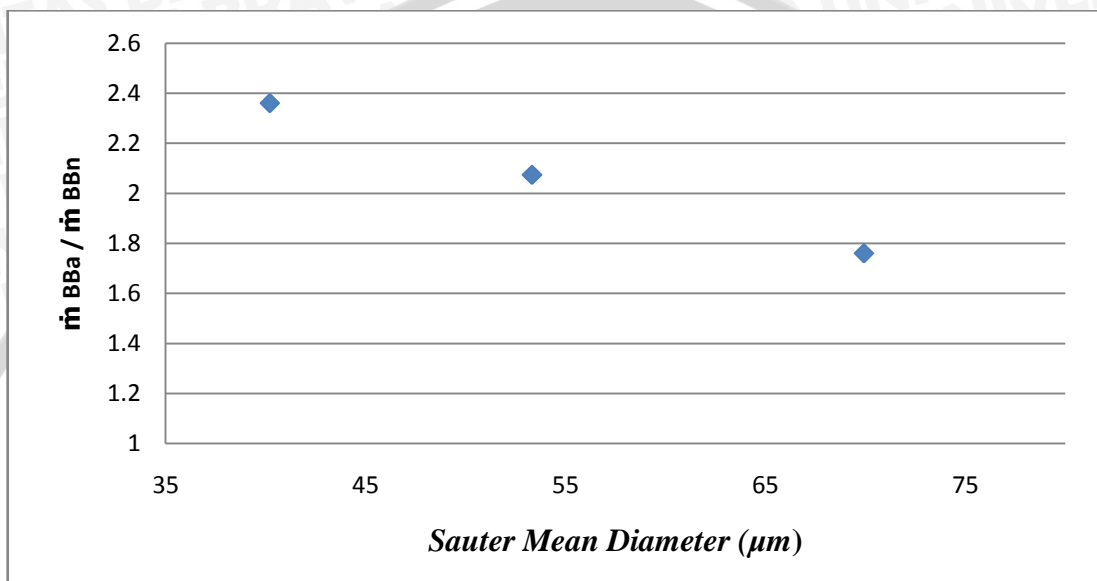
Dari Gambar 4.21, terlihat bahwa terdapat pengaruh variasi ukuran droplet air terhadap perbandingan tinggi api dengan menggunakan droplet air / tinggi api tanpa menggunakan droplet air. Terlihat pada saat *sauter mean diameter* sebesar $40.21 \mu\text{m}$ perbandingan tinggi api bernilai 0.740, pada SMD sebesar $53.33 \mu\text{m}$ perbandingan tinggi api bernilai 0.868 dan pada saat SMD sebesar $69.93 \mu\text{m}$ perbandingan droplet air nilai 0.99. Hal ini disebabkan droplet air menyerap kalor yang terdapat dalam api sehingga api mengalami gangguan untuk melakukan proses pembakaran.

Semakin kecil ukuran *sauter mean diameter* maka perbandingan tinggi api akan semakin kecil sebab semakin kecil ukuran SMD maka luas permukaan yang dihasilkan droplet air semakin besar. Semakin besar luas permukaan droplet air maka semakin besar laju perpindahan panas yang terjadi sehingga banyak kalor yang akan diserap oleh droplet air. Kalor yang terdapat dalam api ini diserap oleh droplet air sehingga api kekurangan kalor untuk membakar semua bahan bakar.

Dapat dilihat pada gambar 4.21 dimana *sauter mean diameter* sebesar $40.21 \mu\text{m}$ mampu menyerap kalor lebih banyak dari pada droplet air berukuran lain. Disebabkan SMD sebesar $53.33 \mu\text{m}$ memiliki luas permukaan yang besar sehingga laju perpindahan panas semakin besar dan akan mengganggu proses berlangsungnya pembakaran.

4.2.1 Hubungan Ukuran Droplet Air Terhadap Perbandingan Antara Massa Alir Bahan Bakar pada Saat Padam dengan Menggunakan Droplet air dengan Massa Alir Bahan Bakar pada Saat Padam Tanpa Menggunakan Droplet Air

Berdasarkan tabel 4.7, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam semakin kecil seiring bertambah besarnya ukuran droplet air, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18.



Gambar 4.22 : Pengaruh diameter droplet air terhadap massa alir BB pada saat api padam tanpa droplet air / massa alir BB pada saat api padam dengan droplet air

Dari gambar 4.22 terlihat bahwa terdapat pengaruh variasi ukuran *sauter mean diameter* droplet air terhadap perbandingan massa alir bahan bakar saat padam dengan droplet air / massa alir bahan bakar saat padam tanpa droplet air. Semakin kecil ukuran droplet air maka semakin besar perbandingan antara massa alir bahan bakar pada saat padam dengan menggunakan droplet air / massa alir bahan bakar pada saat padam tanpa menggunakan droplet air karena semakin kecil droplet air maka semakin banyak kalor dalam api yang diserap oleh droplet air sehingga perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam semakin besar. Semakin besar perbandingan massa alir bahan bakar maka semakin mudah api akan padam.

Terlihat pada gambar 4.22 terdapat 3 titik perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam. Pada *sauter mean diameter* berukuran $40.21 \mu\text{m}$ perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam sebesar 2.362. Pada SMD sebesar $53.33 \mu\text{m}$

perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam sebesar 2.075. Pada ukuran SMD sebesar $69.93 \mu\text{m}$ perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam sebesar 1.761.

Terbukti pada titik-titik yang diperoleh dari penelitian bahwa terdapat pengaruh droplet air terhadap perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam. Semakin kecil ukuran droplet air maka semakin besar perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam. Semakin besar perbandingan massa alir bahan bakar maka semakin mudah pemadaman api yang akan terjadi.

Dalam teori dijelaskan semakin kecil ukuran droplet air maka semakin besar luas permukaan yang terbentuk. Sesuai pada persamaan 2.6, semakin besar luas permukaan yang dibentuk maka semakin cepat laju perpindahan panas yang akan dilakukan oleh droplet air untuk mengambil kalor panas dari api. Kebalikannya semakin besar ukuran droplet air maka semakin kecil luas permukaan droplet air yang terbentuk sehingga semakin kecil laju perpindahan panas yang diserap oleh droplet air oleh karena itu api akan lebih lama padam.

Terbukti pada penelitian ini droplet air berukuran $40.21 \mu\text{m}$ memiliki nilai perbandingan massa alir bahan bakar pada saat padam terbesar dibandingkan dengan droplet air berukuran yang lain. Sebab droplet air berukuran $40.21 \mu\text{m}$ mampu menyerap kalor lebih banyak dibandingkan yang lain karena droplet air berukuran $40.21 \mu\text{m}$ memiliki luas permukaan yang besar sehingga memiliki laju perpindahan panas untuk menyerap kalor yang ada didalam api lebih besar dan api akan lebih mudah padam.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisa pembahasan pengaruh diameter droplet air terhadap proses pemadaman api tipe *premixed flame* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Semakin kecil ukuran droplet air maka semakin banyak kalor yang akan diserap sehingga tinggi api akan menurun (pada saat massa alir bahan bakar yang sama).
- Semakin kecil ukuran diameter droplet air maka massa alir untuk menjaga kesetabilan api akan semakin besar. Pada penelitian ini untuk droplet air sebesar $40.21 \mu\text{m}$ massa alir bahan bakar untuk menjaga kesetabilan api sekitar 2.632 kali lebih besar daripada massa alir bahan bakar untuk menjaga kesetabilan api pada kondisi normal.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan tentang penelitian lanjutan untuk :

- Menggunakan *twin fluid atomizer* lainnya selain menggunakan *spray gun* sebagai alat pembuat droplet air untuk mendapatkan variasi droplet air yang lebih banyak
- Menggunakan kamera *high speed* untuk pengambilan foto droplet air.
- Mencari nilai optimum pada proses pemadaman api tipe *premixed flame* dengan menggunakan droplet air.
- Mencari pengaruh ukuran droplet air pada pemadaman api *premixed flame* dengan menggunakan metana sebagai bahan bakar.
- Meneliti tentang pengaruh diameter droplet air terhadap proses pemadaman api *premixed tipe counter flow flame* sebagai pembanding pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous a* : 2012. <http://www.fire-extinguisher-indonesia.com/2012/05/skema-segitiga-api.html>. (diakses tanggal 10 September 2012).
- Anonymous b* : 2012. <http://smpfisikabb.wordpress.com/2012/02/02/kalor-dan-perubahan-wjud-zat>. (diakses tanggal 12 September 2012).
- Anonymous c* : 2012. www.mnitruckinweb.com. (diakses tanggal 12 September 2012).
- Bintoro, Aryo. 2008. Perencanaan *Containerized Block*. lontar.ui.ac.id (diakses tanggal 19 september 2012).
- Pudjanarsa, A. & Nursuhud, D. 2008. Mesin Konvensi Energi. Yogyakarta: Andi
- Liu, Huimin. 2000. *Science and Engineering of Droplets*. New Jersey: Noyes Publication.
- Sasongko, M. N., Mikami, M. & Dvorjetski, A. 2010. *Extinction Condition of Counterflow Diffusion Flame with Polydisperse Water Sprays. Proceedings of the Combustion Institute: 2555-2562*. Japan: Department of Mechanical Engineering.
- Sojka, P.E.; *Atomization*; Mc Graw Hill, New York.
- Takahashi, F. & Katta, V. R. 2009. *Extinguishment of Diffusion Flame Around a Cylinder in a Coaxial Air Stream with Dilution or Water Mist. Proceedings of the Combustion Institute: 2615-2623*. USA: Department of Mechanical Engineering.
- Wardana, ING. 2008. Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran. Malang: PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press.

Lampiran 1-1

Perhitungan massa alir udara kompresor

Contoh perhitungan massa alir udara kompresor

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta h = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\Delta p &= \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot \Delta h \\ &= 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,012 \\ &= 117,6 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}^2}\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}D &= \text{diameter dalam pipa} \\ &= 7 \text{ mm} = 0,007 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_1 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,007^2 \\ &= 0,00003847 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= \text{diameter orifice} \\ &= 3,5 \text{ mm} = 0,0035 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_2 &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,0035^2 \\ &= 0,00000962 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_{\text{udara}}}} \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 117,6}{1,2}} \frac{0,00000962}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,00000962}{0,00003847}\right)^2}} \\ &= 0,00017950 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{teoritis}} &= \rho_{\text{udara}} \cdot Q \\ &= 1,2 \cdot 0,00017950 \\ &= 0,00021540 \text{ kg/s} \\ &= 0,21540 \text{ g/s}\end{aligned}$$

Lampiran 1-2

$$c_d = 0,543$$

$$\dot{m}_{\text{aktual}} = c_d \cdot \dot{m}_{\text{teoritis}}$$

$$= 0,543 \cdot 0,21540$$

$$= 0,117 \text{ g/s}$$

Tabel massa alir udara kompresor

| Δh (m) | Δp (kg/ms ²) | Q (m ³ /s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (g/s) | \dot{m}_{aktual} (g/s) |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 0,012 | 117,6 | 0,00017950 | 0,00021540 | 0,21540 | 0,1170 |
| 0,013 | 127,4 | 0,00018683 | 0,00022420 | 0,22420 | 0,1217 |
| 0,014 | 137,2 | 0,00019389 | 0,00023266 | 0,23266 | 0,1263 |
| 0,015 | 147,0 | 0,00020069 | 0,00024083 | 0,24083 | 0,1308 |
| 0,016 | 156,8 | 0,00020727 | 0,00024873 | 0,24873 | 0,1351 |
| 0,017 | 166,6 | 0,00021365 | 0,00025638 | 0,25638 | 0,1392 |
| 0,018 | 176,4 | 0,00021985 | 0,00026381 | 0,26381 | 0,1433 |
| 0,019 | 186,2 | 0,00022587 | 0,00027104 | 0,27104 | 0,1472 |
| 0,020 | 196,0 | 0,00023174 | 0,00027809 | 0,27809 | 0,1510 |
| 0,021 | 205,8 | 0,00023746 | 0,00028495 | 0,28495 | 0,1547 |
| 0,022 | 215,6 | 0,00024305 | 0,00029166 | 0,29166 | 0,1584 |
| 0,023 | 225,4 | 0,00024851 | 0,00029821 | 0,29821 | 0,1619 |
| 0,024 | 235,2 | 0,00025386 | 0,00030463 | 0,30463 | 0,1654 |
| 0,025 | 245,0 | 0,00025909 | 0,00031091 | 0,31091 | 0,1688 |
| 0,026 | 254,8 | 0,00026422 | 0,00031707 | 0,31707 | 0,1722 |
| 0,027 | 264,6 | 0,00026926 | 0,00032311 | 0,32311 | 0,1754 |
| 0,028 | 274,4 | 0,00027420 | 0,00032904 | 0,32904 | 0,1787 |
| 0,029 | 284,2 | 0,00027905 | 0,00033486 | 0,33486 | 0,1818 |
| 0,030 | 294,0 | 0,00028382 | 0,00034058 | 0,34058 | 0,1849 |
| 0,031 | 303,8 | 0,00028851 | 0,00034621 | 0,34621 | 0,1880 |
| 0,032 | 313,6 | 0,00029313 | 0,00035175 | 0,35175 | 0,1910 |
| 0,033 | 323,4 | 0,00029767 | 0,00035721 | 0,35721 | 0,1940 |
| 0,034 | 333,2 | 0,00030215 | 0,00036258 | 0,36258 | 0,1969 |
| 0,035 | 343,0 | 0,00030656 | 0,00036787 | 0,36787 | 0,1998 |
| 0,036 | 352,8 | 0,00031091 | 0,00037309 | 0,37309 | 0,2026 |
| 0,037 | 362,6 | 0,00031520 | 0,00037824 | 0,37824 | 0,2054 |
| 0,038 | 372,4 | 0,00031943 | 0,00038331 | 0,38331 | 0,2081 |
| 0,039 | 382,2 | 0,00032360 | 0,00038833 | 0,38833 | 0,2109 |
| 0,040 | 392,0 | 0,00032773 | 0,00039327 | 0,39327 | 0,2135 |
| 0,041 | 401,8 | 0,00033180 | 0,00039816 | 0,39816 | 0,2162 |
| 0,042 | 411,6 | 0,00033582 | 0,00040298 | 0,40298 | 0,2188 |
| 0,043 | 421,4 | 0,00033979 | 0,00040775 | 0,40775 | 0,2214 |
| 0,044 | 431,2 | 0,00034372 | 0,00041247 | 0,41247 | 0,2240 |
| 0,045 | 441,0 | 0,00034761 | 0,00041713 | 0,41713 | 0,2265 |
| 0,046 | 450,8 | 0,00035145 | 0,00042174 | 0,42174 | 0,2290 |

| Δh (m) | Δp (kg/ms ²) | Q (m ³ /s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (g/s) | \dot{m}_{aktual} (g/s) |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 0,047 | 460,6 | 0,00035525 | 0,00042630 | 0,42630 | 0,2315 |
| 0,048 | 470,4 | 0,00035901 | 0,00043081 | 0,43081 | 0,2339 |
| 0,049 | 480,2 | 0,00036273 | 0,00043527 | 0,43527 | 0,2364 |
| 0,050 | 490,0 | 0,00036641 | 0,00043969 | 0,43969 | 0,2388 |
| 0,051 | 499,8 | 0,00037006 | 0,00044407 | 0,44407 | 0,2411 |
| 0,052 | 509,6 | 0,00037367 | 0,00044840 | 0,44840 | 0,2435 |
| 0,053 | 519,4 | 0,00037724 | 0,00045269 | 0,45269 | 0,2458 |
| 0,054 | 529,2 | 0,00038078 | 0,00045694 | 0,45694 | 0,2481 |
| 0,055 | 539,0 | 0,00038429 | 0,00046115 | 0,46115 | 0,2504 |
| 0,056 | 548,8 | 0,00038777 | 0,00046533 | 0,46533 | 0,2527 |
| 0,057 | 558,6 | 0,00039122 | 0,00046946 | 0,46946 | 0,2549 |
| 0,058 | 568,4 | 0,00039464 | 0,00047356 | 0,47356 | 0,2571 |
| 0,059 | 578,2 | 0,00039802 | 0,00047763 | 0,47763 | 0,2594 |
| 0,060 | 588,0 | 0,00040138 | 0,00048166 | 0,48166 | 0,2615 |
| 0,061 | 597,8 | 0,00040471 | 0,00048566 | 0,48566 | 0,2637 |
| 0,062 | 607,6 | 0,00040802 | 0,00048962 | 0,48962 | 0,2659 |
| 0,063 | 617,4 | 0,00041129 | 0,00049355 | 0,49355 | 0,2680 |
| 0,064 | 627,2 | 0,00041455 | 0,00049745 | 0,49745 | 0,2701 |
| 0,065 | 637,0 | 0,00041777 | 0,00050133 | 0,50133 | 0,2722 |
| 0,066 | 646,8 | 0,00042097 | 0,00050517 | 0,50517 | 0,2743 |
| 0,067 | 656,6 | 0,00042415 | 0,00050898 | 0,50898 | 0,2764 |
| 0,068 | 666,4 | 0,00042730 | 0,00051276 | 0,51276 | 0,2784 |
| 0,069 | 676,2 | 0,00043043 | 0,00051652 | 0,51652 | 0,2805 |
| 0,070 | 686,0 | 0,00043354 | 0,00052025 | 0,52025 | 0,2825 |
| 0,071 | 695,8 | 0,00043663 | 0,00052395 | 0,52395 | 0,2845 |
| 0,072 | 705,6 | 0,00043969 | 0,00052763 | 0,52763 | 0,2865 |
| 0,073 | 715,4 | 0,00044273 | 0,00053128 | 0,53128 | 0,2885 |
| 0,074 | 725,2 | 0,00044576 | 0,00053491 | 0,53491 | 0,2905 |
| 0,075 | 735,0 | 0,00044876 | 0,00053851 | 0,53851 | 0,2924 |
| 0,076 | 744,8 | 0,00045174 | 0,00054209 | 0,54209 | 0,2944 |
| 0,077 | 754,6 | 0,00045470 | 0,00054564 | 0,54564 | 0,2963 |
| 0,078 | 764,4 | 0,00045765 | 0,00054917 | 0,54917 | 0,2982 |
| 0,079 | 774,2 | 0,00046057 | 0,00055268 | 0,55268 | 0,3001 |
| 0,080 | 784,0 | 0,00046348 | 0,00055617 | 0,55617 | 0,3020 |
| 0,081 | 793,8 | 0,00046636 | 0,00055964 | 0,55964 | 0,3039 |
| 0,082 | 803,6 | 0,00046923 | 0,00056308 | 0,56308 | 0,3058 |
| 0,083 | 813,4 | 0,00047209 | 0,00056650 | 0,56650 | 0,3076 |
| 0,084 | 823,2 | 0,00047492 | 0,00056991 | 0,56991 | 0,3095 |
| 0,085 | 833,0 | 0,00047774 | 0,00057329 | 0,57329 | 0,3113 |
| 0,086 | 842,8 | 0,00048054 | 0,00057665 | 0,57665 | 0,3131 |
| 0,087 | 852,6 | 0,00048333 | 0,00057999 | 0,57999 | 0,3149 |
| 0,088 | 862,4 | 0,00048610 | 0,00058332 | 0,58332 | 0,3167 |
| 0,089 | 872,2 | 0,00048885 | 0,00058662 | 0,58662 | 0,3185 |

Lampiran 1-4

| Δh (m) | Δp (kg/ms ²) | Q (m ³ /s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (g/s) | \dot{m}_{aktual} (g/s) |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 0,090 | 882,0 | 0,00049159 | 0,00058991 | 0,58991 | 0,3203 |
| 0,091 | 891,8 | 0,00049431 | 0,00059318 | 0,59318 | 0,3221 |
| 0,092 | 901,6 | 0,00049702 | 0,00059643 | 0,59643 | 0,3239 |
| 0,093 | 911,4 | 0,00049972 | 0,00059966 | 0,59966 | 0,3256 |
| 0,094 | 921,2 | 0,00050240 | 0,00060287 | 0,60287 | 0,3274 |
| 0,095 | 931,0 | 0,00050506 | 0,00060607 | 0,60607 | 0,3291 |
| 0,096 | 940,8 | 0,00050771 | 0,00060925 | 0,60925 | 0,3308 |
| 0,097 | 950,6 | 0,00051035 | 0,00061242 | 0,61242 | 0,3325 |
| 0,098 | 960,4 | 0,00051297 | 0,00061557 | 0,61557 | 0,3343 |
| 0,099 | 970,2 | 0,00051558 | 0,00061870 | 0,61870 | 0,3360 |
| 0,100 | 980,0 | 0,00051818 | 0,00062182 | 0,62182 | 0,3376 |
| 0,101 | 989,8 | 0,00052077 | 0,00062492 | 0,62492 | 0,3393 |
| 0,102 | 999,6 | 0,00052334 | 0,00062801 | 0,62801 | 0,3410 |
| 0,103 | 1009,4 | 0,00052590 | 0,00063108 | 0,63108 | 0,3427 |
| 0,104 | 1019,2 | 0,00052844 | 0,00063413 | 0,63413 | 0,3443 |
| 0,105 | 1029,0 | 0,00053098 | 0,00063717 | 0,63717 | 0,3460 |



Perhitungan massa alir udara blower

Contoh perhitungan massa alir udara blower

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h_1 = 76 \text{ mm} = 0,076 \text{ m}$$

$$\sin \alpha = 0,099504$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= 2 \cdot h_1 \cdot \sin \alpha \\ &= 2 \cdot 0,076 \cdot 0,099504 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot \Delta h \\ &= 1000 \cdot 9,8 \cdot 2 \cdot 0,076 \cdot 0,099504 \\ &= 148,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} D &= \text{diameter dalam pipa} \\ &= 67 \text{ mm} = 0,067 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,067^2 \\ &= 0,00352387 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{diameter orifice} \\ &= 33,5 \text{ mm} = 0,0335 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,0335^2 \\ &= 0,00088097 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_{\text{udara}}}} \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 148,2}{1,2}} \frac{0,00088097}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,00088097}{0,00352387}\right)^2}} \\ &= 0,01846195 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



Lampiran 2-2

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{teoritis}} &= \rho_{\text{udara}} \cdot Q \\ &= 1,2 \cdot 0,01846195 \\ &= 0,02215434 \text{ kg/s} \\ &= 22,1543 \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$c_d = 0,687$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{aktual}} &= c_d \cdot \dot{m}_{\text{teoritis}} \\ &= 0,687 \cdot 22,1543 \\ &= 15,22 \text{ g/s} \end{aligned}$$

Tabel massa alir udara blower

| h_1 (m) | Δp (kg/ms ²) | Q (m ³ /s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (g/s) | \dot{m}_{aktual} (g/s) |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0,001 | 2,0 | 0,00211773 | 0,00254128 | 2,5413 | 1,7459 |
| 0,002 | 3,9 | 0,00299492 | 0,00359391 | 3,5939 | 2,4690 |
| 0,003 | 5,9 | 0,00366802 | 0,00440162 | 4,4016 | 3,0239 |
| 0,004 | 7,8 | 0,00423546 | 0,00508255 | 5,0826 | 3,4917 |
| 0,005 | 9,8 | 0,00473539 | 0,00568247 | 5,6825 | 3,9039 |
| 0,006 | 11,7 | 0,00518736 | 0,00622483 | 6,2248 | 4,2765 |
| 0,007 | 13,7 | 0,00560299 | 0,00672359 | 6,7236 | 4,6191 |
| 0,008 | 15,6 | 0,00598985 | 0,00718782 | 7,1878 | 4,9380 |
| 0,009 | 17,6 | 0,00635319 | 0,00762383 | 7,6238 | 5,2376 |
| 0,010 | 19,5 | 0,00669685 | 0,00803622 | 8,0362 | 5,5209 |
| 0,011 | 21,5 | 0,00702372 | 0,00842846 | 8,4285 | 5,7904 |
| 0,012 | 23,4 | 0,00733603 | 0,00880324 | 8,8032 | 6,0478 |
| 0,013 | 25,4 | 0,00763559 | 0,00916270 | 9,1627 | 6,2948 |
| 0,014 | 27,3 | 0,00792382 | 0,00950859 | 9,5086 | 6,5324 |
| 0,015 | 29,3 | 0,00820193 | 0,00984232 | 9,8423 | 6,7617 |
| 0,016 | 31,2 | 0,00847092 | 0,01016511 | 10,1651 | 6,9834 |
| 0,017 | 33,2 | 0,00873163 | 0,01047795 | 10,4780 | 7,1984 |
| 0,018 | 35,1 | 0,00898477 | 0,01078172 | 10,7817 | 7,4070 |
| 0,019 | 37,1 | 0,00923097 | 0,01107717 | 11,0772 | 7,6100 |
| 0,020 | 39,0 | 0,00947078 | 0,01136493 | 11,3649 | 7,8077 |
| 0,021 | 41,0 | 0,00970466 | 0,01164559 | 11,6456 | 8,0005 |
| 0,022 | 42,9 | 0,00993304 | 0,01191964 | 11,9196 | 8,1888 |
| 0,023 | 44,9 | 0,01015628 | 0,01218753 | 12,1875 | 8,3728 |
| 0,024 | 46,8 | 0,01037472 | 0,01244966 | 12,4497 | 8,5529 |
| 0,025 | 48,8 | 0,01058865 | 0,01270638 | 12,7064 | 8,7293 |
| 0,026 | 50,7 | 0,01079835 | 0,01295802 | 12,9580 | 8,9022 |
| 0,027 | 52,7 | 0,01100405 | 0,01320486 | 13,2049 | 9,0717 |
| 0,028 | 54,6 | 0,01120598 | 0,01344717 | 13,4472 | 9,2382 |

| h_1 (m) | Δp (kg/ms ²) | Q (m ³ /s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (g/s) | \dot{m}_{aktual} (g/s) |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0,029 | 56,6 | 0,01140433 | 0,01368519 | 13,6852 | 9,4017 |
| 0,030 | 58,5 | 0,01159929 | 0,01391915 | 13,9191 | 9,5625 |
| 0,031 | 60,5 | 0,01179102 | 0,01414923 | 14,1492 | 9,7205 |
| 0,032 | 62,4 | 0,01197969 | 0,01437563 | 14,3756 | 9,8761 |
| 0,033 | 64,4 | 0,01216544 | 0,01459852 | 14,5985 | 10,0292 |
| 0,034 | 66,3 | 0,01234838 | 0,01481806 | 14,8181 | 10,1800 |
| 0,035 | 68,3 | 0,01252866 | 0,01503439 | 15,0344 | 10,3286 |
| 0,036 | 70,2 | 0,01270638 | 0,01524766 | 15,2477 | 10,4751 |
| 0,037 | 72,2 | 0,01288165 | 0,01545798 | 15,4580 | 10,6196 |
| 0,038 | 74,1 | 0,01305457 | 0,01566548 | 15,6655 | 10,7622 |
| 0,039 | 76,1 | 0,01322522 | 0,01587027 | 15,8703 | 10,9029 |
| 0,040 | 78,0 | 0,01339370 | 0,01607244 | 16,0724 | 11,0418 |
| 0,041 | 80,0 | 0,01356009 | 0,01627211 | 16,2721 | 11,1789 |
| 0,042 | 81,9 | 0,01372446 | 0,01646935 | 16,4694 | 11,3144 |
| 0,043 | 83,9 | 0,01388689 | 0,01666426 | 16,6643 | 11,4484 |
| 0,044 | 85,8 | 0,01404743 | 0,01685692 | 16,8569 | 11,5807 |
| 0,045 | 87,8 | 0,01420617 | 0,01704740 | 17,0474 | 11,7116 |
| 0,046 | 89,7 | 0,01436315 | 0,01723578 | 17,2358 | 11,8410 |
| 0,047 | 91,7 | 0,01451843 | 0,01742211 | 17,4221 | 11,9690 |
| 0,048 | 93,6 | 0,01467207 | 0,01760648 | 17,6065 | 12,0957 |
| 0,049 | 95,6 | 0,01482411 | 0,01778894 | 17,7889 | 12,2210 |
| 0,050 | 97,5 | 0,01497462 | 0,01796954 | 17,9695 | 12,3451 |
| 0,051 | 99,5 | 0,01512362 | 0,01814834 | 18,1483 | 12,4679 |
| 0,052 | 101,4 | 0,01527117 | 0,01832541 | 18,3254 | 12,5896 |
| 0,053 | 103,4 | 0,01541731 | 0,01850077 | 18,5008 | 12,7100 |
| 0,054 | 105,3 | 0,01556208 | 0,01867449 | 18,6745 | 12,8294 |
| 0,055 | 107,3 | 0,01570551 | 0,01884661 | 18,8466 | 12,9476 |
| 0,056 | 109,2 | 0,01584764 | 0,01901717 | 19,0172 | 13,0648 |
| 0,057 | 111,2 | 0,01598851 | 0,01918622 | 19,1862 | 13,1809 |
| 0,058 | 113,1 | 0,01612815 | 0,01935379 | 19,3538 | 13,2961 |
| 0,059 | 115,1 | 0,01626660 | 0,01951992 | 19,5199 | 13,4102 |
| 0,060 | 117,0 | 0,01640387 | 0,01968464 | 19,6846 | 13,5234 |
| 0,061 | 119,0 | 0,01654000 | 0,01984800 | 19,8480 | 13,6356 |
| 0,062 | 120,9 | 0,01667503 | 0,02001003 | 20,0100 | 13,7469 |
| 0,063 | 122,9 | 0,01680896 | 0,02017076 | 20,1708 | 13,8573 |
| 0,064 | 124,8 | 0,01694184 | 0,02033021 | 20,3302 | 13,9669 |
| 0,065 | 126,8 | 0,01707369 | 0,02048843 | 20,4884 | 14,0755 |
| 0,066 | 128,7 | 0,01720452 | 0,02064543 | 20,6454 | 14,1834 |
| 0,067 | 130,7 | 0,01733437 | 0,02080125 | 20,8012 | 14,2905 |
| 0,068 | 132,6 | 0,01746325 | 0,02095590 | 20,9559 | 14,3967 |
| 0,069 | 134,6 | 0,01759119 | 0,02110943 | 21,1094 | 14,5022 |
| 0,070 | 136,5 | 0,01771820 | 0,02126185 | 21,2618 | 14,6069 |
| 0,071 | 138,5 | 0,01784431 | 0,02141318 | 21,4132 | 14,7109 |

| h_1 (m) | Δp (kg/ms ²) | Q (m ³ /s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{teoritis}}$ (g/s) | \dot{m}_{aktual} (g/s) |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0,072 | 140,4 | 0,01796954 | 0,02156345 | 21,5634 | 14,8141 |
| 0,073 | 142,4 | 0,01809390 | 0,02171268 | 21,7127 | 14,9166 |
| 0,074 | 144,3 | 0,01821741 | 0,02186089 | 21,8609 | 15,0184 |
| 0,075 | 146,3 | 0,01834008 | 0,02200810 | 22,0081 | 15,1196 |
| 0,076 | 148,2 | 0,01846195 | 0,02215434 | 22,1543 | 15,2200 |
| 0,077 | 150,2 | 0,01858301 | 0,02229961 | 22,2996 | 15,3198 |
| 0,078 | 152,1 | 0,01870329 | 0,02244395 | 22,4439 | 15,4190 |
| 0,079 | 154,1 | 0,01882280 | 0,02258736 | 22,5874 | 15,5175 |
| 0,080 | 156,0 | 0,01894156 | 0,02272987 | 22,7299 | 15,6154 |
| 0,081 | 158,0 | 0,01905957 | 0,02287149 | 22,8715 | 15,7127 |
| 0,082 | 159,9 | 0,01917687 | 0,02301224 | 23,0122 | 15,8094 |
| 0,083 | 161,9 | 0,01929344 | 0,02315213 | 23,1521 | 15,9055 |
| 0,084 | 163,8 | 0,01940932 | 0,02329118 | 23,2912 | 16,0010 |
| 0,085 | 165,8 | 0,01952451 | 0,02342941 | 23,4294 | 16,0960 |
| 0,086 | 167,7 | 0,01963902 | 0,02356683 | 23,5668 | 16,1904 |
| 0,087 | 169,7 | 0,01975287 | 0,02370345 | 23,7034 | 16,2843 |
| 0,088 | 171,6 | 0,01986607 | 0,02383929 | 23,8393 | 16,3776 |
| 0,089 | 173,6 | 0,01997863 | 0,02397436 | 23,9744 | 16,4704 |
| 0,090 | 175,5 | 0,02009056 | 0,02410867 | 24,1087 | 16,5627 |
| 0,091 | 177,5 | 0,02020186 | 0,02424223 | 24,2422 | 16,6544 |
| 0,092 | 179,4 | 0,02031256 | 0,02437507 | 24,3751 | 16,7457 |
| 0,093 | 181,4 | 0,02042265 | 0,02450718 | 24,5072 | 16,8364 |
| 0,094 | 183,3 | 0,02053216 | 0,02463859 | 24,6386 | 16,9267 |
| 0,095 | 185,3 | 0,02064108 | 0,02476930 | 24,7693 | 17,0165 |
| 0,096 | 187,2 | 0,02074944 | 0,02489932 | 24,8993 | 17,1058 |
| 0,097 | 189,2 | 0,02085723 | 0,02502867 | 25,0287 | 17,1947 |
| 0,098 | 191,1 | 0,02096446 | 0,02515735 | 25,1574 | 17,2831 |
| 0,099 | 193,1 | 0,02107115 | 0,02528538 | 25,2854 | 17,3711 |
| 0,100 | 195,0 | 0,02117730 | 0,02541277 | 25,4128 | 17,4586 |
| 0,101 | 197,0 | 0,02128293 | 0,02553951 | 25,5395 | 17,5456 |
| 0,102 | 198,9 | 0,02138803 | 0,02566564 | 25,6656 | 17,6323 |
| 0,103 | 200,9 | 0,02149262 | 0,02579114 | 25,7911 | 17,7185 |
| 0,104 | 202,8 | 0,02159670 | 0,02591604 | 25,9160 | 17,8043 |
| 0,105 | 204,8 | 0,02170028 | 0,02604034 | 26,0403 | 17,8897 |
| 0,106 | 206,7 | 0,02180337 | 0,02616404 | 26,1640 | 17,9747 |
| 0,107 | 208,7 | 0,02190597 | 0,02628717 | 26,2872 | 18,0593 |
| 0,108 | 210,6 | 0,02200810 | 0,02640972 | 26,4097 | 18,1435 |
| 0,109 | 212,6 | 0,02210976 | 0,02653171 | 26,5317 | 18,2273 |
| 0,110 | 214,5 | 0,02221094 | 0,02665313 | 26,6531 | 18,3107 |

Kalibrasi debit aliran udara kompresor

Kalibrasi debit aliran udara kompresor

Tabel 1. Debit aliran udara kompresor saat $\Delta p = 0,012$ m

| V(ml) | t (s) | Q (ml/s) |
|-----------|-------|----------|
| 200 | 2,52 | 79,3651 |
| 180 | 2,91 | 61,8557 |
| 245 | 2,86 | 85,6643 |
| 180 | 2,59 | 69,4981 |
| 180 | 2,75 | 65,4545 |
| 230 | 3,38 | 68,0473 |
| 235 | 2,68 | 87,6866 |
| 185 | 2,38 | 77,7311 |
| 175 | 1,89 | 92,5926 |
| 220 | 2,89 | 76,1246 |
| 235 | 2,43 | 96,7078 |
| 250 | 2,73 | 91,5751 |
| 180 | 2,32 | 77,5862 |
| 230 | 2,37 | 97,0464 |
| 219 | 3,41 | 64,2229 |
| 165 | 2,83 | 58,3039 |
| 270 | 2,47 | 109,3117 |
| 240 | 2,26 | 106,1947 |
| Rata-rata | | 81,3871 |

Tabel 2. Debit aliran udara kompresor saat $\Delta p = 0,026$ m

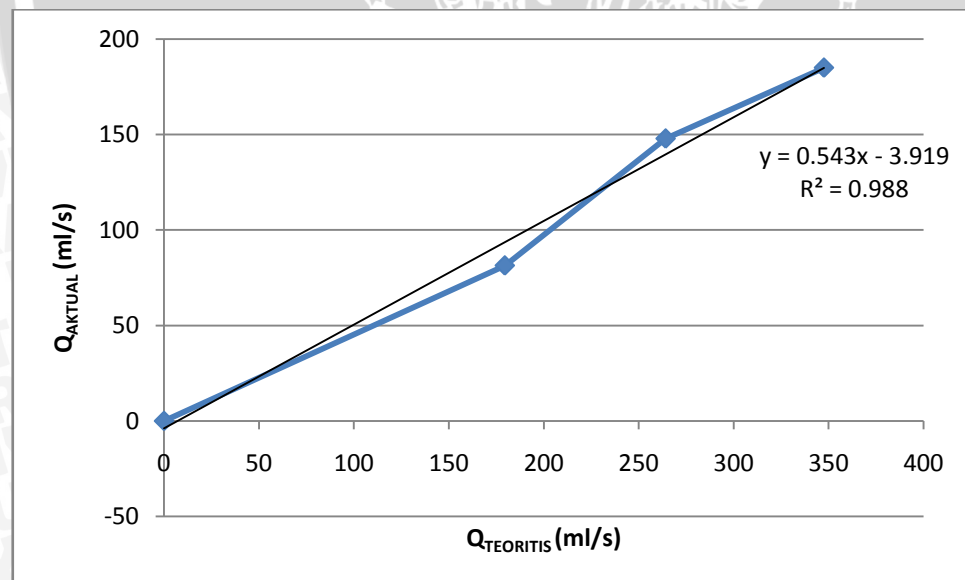
| V(ml) | t (s) | Q (ml/s) |
|-----------|-------|----------|
| 235 | 1,20 | 195,8333 |
| 265 | 1,76 | 150,5682 |
| 295 | 2,01 | 146,7662 |
| 310 | 2,26 | 137,1681 |
| 300 | 2,20 | 136,3636 |
| 290 | 2,06 | 140,7767 |
| 300 | 2,12 | 141,5094 |
| 320 | 2,29 | 139,7380 |
| 260 | 1,99 | 130,6533 |
| 300 | 1,89 | 158,7302 |
| Rata-rata | | 147,8107 |

Tabel 3. Debit aliran udara kompresor saat $\Delta p = 0,045$ m

| V(ml) | t (s) | Q (ml/s) |
|-----------|-------|----------|
| 325 | 1,97 | 164,9746 |
| 340 | 2,12 | 160,3774 |
| 375 | 1,66 | 225,9036 |
| 400 | 2,17 | 184,3318 |
| 385 | 2,06 | 186,8932 |
| 305 | 1,40 | 217,8571 |
| 325 | 1,92 | 169,2708 |
| 340 | 1,92 | 177,0833 |
| 340 | 2,02 | 168,3168 |
| 330 | 1,70 | 194,1176 |
| Rata-rata | | 184,9126 |

Tabel 4. Hubungan debit aliran udara kompresor teoritis dan aktual

| Δp (m) | Q_{TEORITIS} (m^3/s) | Q_{TEORITIS} (ml/s) | Q_{AKTUAL} (ml/s) |
|----------------|---|------------------------------|----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,012 | 0,0001795033 | 179,5033 | 81,38714 |
| 0,026 | 0,0002642218 | 264,2218 | 147,8107 |
| 0,045 | 0,0003476067 | 347,6067 | 184,9126 |

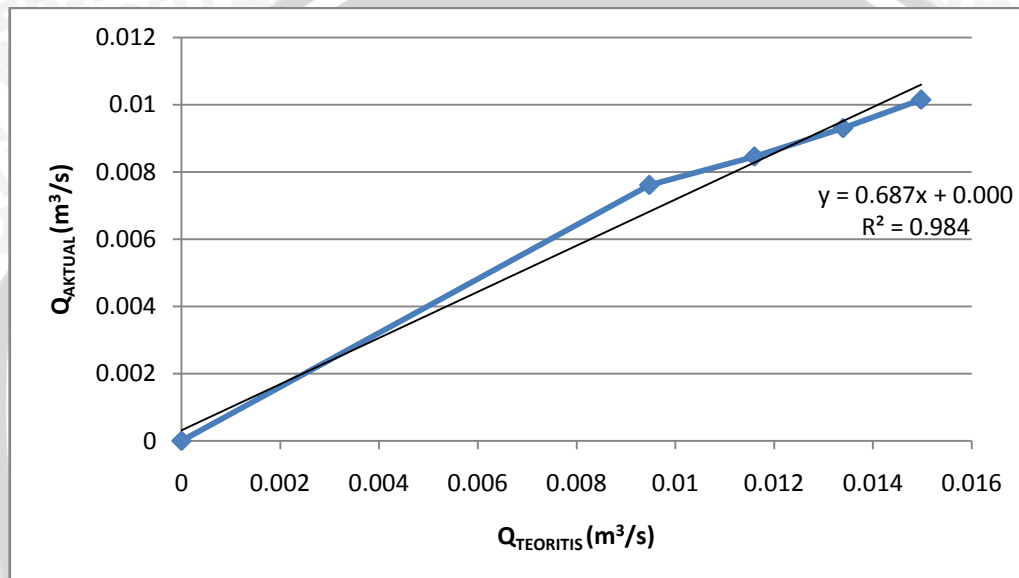


Gambar: Hubungan debit aliran udara kompresor teoritis dan aktual

Kalibrasi debit udara blower

Tabel kalibrasi debit udara blower

| Δh (m) | Q_{TEORITIS} (m^3/s) | V_{AKTUAL} (m/s) | Q_{AKTUAL} (m^3/s) |
|----------------|---|---------------------------|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,02 | 0,00947078 | 1,8 | 0,007612 |
| 0,03 | 0,01159929 | 2,0 | 0,008457 |
| 0,04 | 0,01339370 | 2,2 | 0,009303 |
| 0,05 | 0,01497462 | 2,4 | 0,010149 |



Gambar: Hubungan debit teoritis dan debit aktual aliran udara pada blower

Perhitungan Massa alir air

Contoh perhitungan massa alir air :

- Massa alir air keluar *spraygun*

$$V = 10 \text{ ml}$$

$$t = 15,4 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$= \frac{10 \text{ ml}}{15,4 \text{ s}}$$

$$= 0,649 \text{ ml/s}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$= 0,649 \text{ ml/s} \times 1 \text{ g/ml}$$

$$= 0,649 \text{ g/s}$$

Tabel 1. Massa alir air keluar nozzel

| | Volume (ml) | Waktu (s) | Debit (ml/s) | Densitas (g/s) | Massa alir (g/s) |
|-----------|-------------|-----------|--------------|----------------|------------------|
| I | 10 | 15,4 | 0,649 | 1 | 0,649 |
| II | 10 | 15,9 | 0,628 | 1 | 0,628 |
| III | 10 | 16,12 | 0,620 | 1 | 0,620 |
| IV | 10 | 15,42 | 0,648 | 1 | 0,648 |
| Rata-Rata | | | | | 0,63625 |

- Massa alir air sisa

$$V = 5 \text{ ml}$$

$$t = 94,52 \text{ s}$$

$$Q = 0,0528 \text{ ml/s}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$= 0,0528 \text{ ml/s} \times 1 \text{ g/ml}$$

$$= 0,0528 \text{ g/s}$$

Tabel 2. Massa alir air sisa

| | Volume (ml) | Waktu (s) | Debit (ml/s) | Densitas (g/s) | Massa alir (g/s) |
|-----------|-------------|-----------|--------------|----------------|------------------|
| I | 5 | 94,52 | 0,0528 | 1 | 0,0528 |
| II | 5 | 97,44 | 0,0513 | 1 | 0,0513 |
| III | 5 | 93,55 | 0,0534 | 1 | 0,0534 |
| IV | 5 | 93,71 | 0,0533 | 1 | 0,0533 |
| Rata-Rata | | | | | 0,0657 |

- Massa alir air naik keatas dalam saluran udara

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{keatas}} &= \dot{m}_{\text{keluar spraygun}} - \dot{m}_{\text{sisa}} \\
 &= 0,63625 \text{ g/s} - 0,0657 \text{ g/s} \\
 &= 0,57055 \text{ g/s}
 \end{aligned}$$



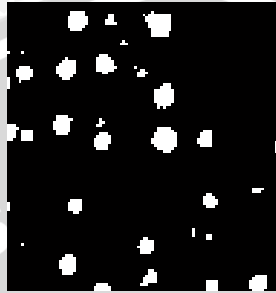
- Pengukuran Droplet Besar (3 kali pengambilan gambar)

\dot{m} udara dari kompresor = 0,117 g/s

\dot{m} udara dari blower = 15,419 g/s

\dot{m} air = 0,57055 g/s.

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 64,822 μm**



Gambar 1 : Foto droplet SMD 64,822 μm

Tabel.1 Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 4,787307365 | 0,07519 | 0,005654 |
| 2 | 6,675581178 | 1,96346 | 3,855175 |
| 3 | 3,742410319 | -0,96971 | 0,940337 |
| 4 | 3,385137501 | -1,32698 | 1,760876 |
| 5 | 3,191538243 | -1,52058 | 2,312164 |
| 6 | 5,863230143 | 1,15111 | 1,325054 |
| 7 | 1,128379167 | -3,58374 | 12,84319 |
| 8 | 4,513516668 | -0,1986 | 0,039442 |
| 9 | 1,128379167 | -3,58374 | 12,84319 |
| 10 | 6,863662518 | 2,15154 | 4,629124 |
| 11 | 7,225151994 | 2,51303 | 6,31532 |
| 12 | 6,675581178 | 1,96346 | 3,855175 |
| 13 | 7,225151994 | 2,51303 | 6,31532 |
| 14 | 5,170882946 | 0,45876 | 0,210461 |
| 15 | 6,07650778 | 1,36439 | 1,86156 |
| 16 | 4,513516668 | -0,1986 | 0,039442 |
| 17 | 6,675581178 | 1,96346 | 3,855175 |
| 18 | 2,523132522 | -2,18899 | 4,791677 |
| 19 | 3,742410319 | -0,96971 | 0,940337 |
| 20 | 2,256758334 | -2,45536 | 6,028793 |
| 21 | 1,128379167 | -3,58374 | 12,84319 |
| 22 | 3,385137501 | -1,32698 | 1,760876 |
| 23 | 5,863230143 | 1,15111 | 1,325054 |
| 24 | 5,292567428 | 0,58045 | 0,336922 |
| 25 | 8,956231982 | 4,24411 | 18,01247 |
| 26 | 8,884866447 | 4,17275 | 17,41184 |
| 27 | 7,89865417 | 3,18653 | 10,15397 |

| | | | |
|----------|-------------|----------|----------|
| 28 | 1,954410048 | -2,75771 | 7,604964 |
| 29 | 5,641895835 | 0,92978 | 0,864491 |
| 30 | 4,918490759 | 0,20602 | 0,042444 |
| 31 | 2,256758334 | -2,45536 | 6,028793 |
| 32 | 4,513516668 | -0,1986 | 0,039442 |
| 33 | 6,282549314 | 1,57043 | 2,46625 |
| 34 | 2,985410661 | -1,72671 | 2,981527 |
| 35 | 4,652426492 | -0,05969 | 0,003563 |
| 36 | 2,985410661 | -1,72671 | 2,981527 |
| 37 | 3,385137501 | -1,32698 | 1,760876 |
| Σ | 174,3485 | | 161,385 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 174,348$$

$$\bar{x} = \frac{174,34856}{37}$$

$$\bar{x} = 4,712$$

$$\Sigma (x_i - \bar{x})^2 = 161,385$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 2,117$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{2,117}{\sqrt{37}}$$

$$= \frac{2,117}{6,082}$$

$$= 0,348$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$

- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 37-1$$

$$= 36$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 36)$

$$t(0,025;36) = 2,436$$

- interval

$$\bar{x} - \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \delta \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \delta \right\}$$

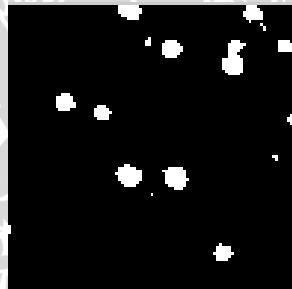
$$4,712 - (2,4366)0,348 \leq x \leq 4,712 + (2,4366)0,348$$

$$3,864 \leq x \leq 5,56$$

Tabel 2. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 5,29257 | 0,01342 | 0,071026 | 0,000358 | 0,005045 |
| 5,17088 | 0,01342 | 0,069393 | 0,000334 | 0,004815 |
| 4,91849 | 0,01342 | 0,066006 | 0,000288 | 0,004357 |
| 4,78731 | 0,01342 | 0,064246 | 0,000265 | 0,004128 |
| 4,65243 | 0,01342 | 0,062436 | 0,000243 | 0,003898 |
| 4,51352 | 0,01342 | 0,060571 | 0,000222 | 0,003669 |
| 4,51352 | 0,01342 | 0,060571 | 0,000222 | 0,003669 |
| 4,51352 | 0,01342 | 0,060571 | 0,000222 | 0,003669 |
| JUMLAH | | | 0,002155 | 0,033249 |
| SMD | | | 0,064822 | |

- Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 67,833 μm

Gambar 2 : Foto droplet SMD 67,833 μm

Tabel 3. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 5,41151638 | 0,605981 | 0,367213 |
| 2 | 4,222008246 | -0,58353 | 0,340504 |
| 3 | 1,595769122 | -3,20977 | 10,3026 |
| 4 | 5,046265044 | 0,24073 | 0,057951 |
| 5 | 4,370193722 | -0,43534 | 0,189522 |
| 6 | 7,484820637 | 2,679285 | 7,17857 |
| 7 | 1,595769122 | -3,20977 | 10,3026 |
| 8 | 7,136496465 | 2,330961 | 5,43338 |
| 9 | 1,954410048 | -2,85113 | 8,128915 |
| 10 | 7,225151994 | 2,419617 | 5,854545 |
| 11 | 3,191538243 | -1,614 | 2,604987 |
| 12 | 7,312732791 | 2,507197 | 6,286039 |
| 13 | 6,383076486 | 1,577541 | 2,488636 |

| | | | |
|----------|-------------|----------|----------|
| 14 | 1,595769122 | -3,20977 | 10,3026 |
| 15 | 1,954410048 | -2,85113 | 8,128915 |
| 16 | 1,128379167 | -3,67716 | 13,52148 |
| 17 | 3,908820095 | -0,89672 | 0,804098 |
| 18 | 7,484820637 | 2,679285 | 7,17857 |
| 19 | 1,954410048 | -2,85113 | 8,128915 |
| 20 | 5,863230143 | 1,057695 | 1,118718 |
| 21 | 8,519075892 | 3,713541 | 13,79038 |
| 22 | 7,735777828 | 2,930243 | 8,586321 |
| 23 | 6,579524642 | 1,773989 | 3,147038 |
| 24 | 5,753627392 | 0,948092 | 0,898879 |
| 25 | 4,068428945 | -0,73711 | 0,543326 |
| 26 | 6,282549314 | 1,477014 | 2,18157 |
| 27 | 3,99088201 | -0,81465 | 0,66366 |
| Σ | 129,7494 | | 138,529 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 129,7494$$

$$\bar{x} = \frac{129,7494}{27}$$

$$\bar{x} = 4,805$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 138,5299$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 2,308262$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{2,308262}{\sqrt{27}}$$

$$= \frac{2,308262}{5,196}$$

$$= 0,444225$$

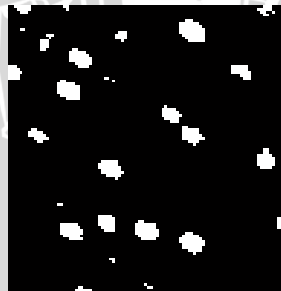
- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$

- Derajat Kebebasan (db) = n-1
= 27-1
= 26
- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 26)$
 $t(0,025; 26) = 2,042$
- interval
$$\bar{x} - \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\}$$
$$4,805 - (2,042)0,44 \leq x \leq 4,805 + (2,042)0,44$$
$$3,90 \leq x \leq 5,87$$

Tabel 4. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 5,86323 | 0,01342 | 0,078685 | 0,000487 | 0,006191 |
| 5,753627 | 0,01342 | 0,077214 | 0,00046 | 0,005962 |
| 5,411516 | 0,01342 | 0,072623 | 0,000383 | 0,005274 |
| 5,046265 | 0,01342 | 0,067721 | 0,000311 | 0,004586 |
| 4,370194 | 0,01342 | 0,058648 | 0,000202 | 0,00344 |
| 4,222008 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,00321 |
| 4,068429 | 0,01342 | 0,054598 | 0,000163 | 0,002981 |
| 3,990882 | 0,01342 | 0,053558 | 0,000154 | 0,002868 |
| JUMLAH | | | 0,002341 | 0,034513 |
| SMD | | | 0,067833 | |

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 73,542 μm**

Gambar 3 : Foto droplet SMD 73,542 μm

Tabel 5. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 1,954410048 | -2,9473 | 8,68686 |
| 2 | 6,482044814 | 1,58029 | 2,497306 |
| 3 | 5,41151638 | 0,50976 | 0,259854 |
| 4 | 8,058239062 | 3,15648 | 9,963373 |
| 5 | 6,482044814 | 1,58029 | 2,497306 |

| | | | |
|----------|-------------|---------|----------|
| 6 | 2,523132522 | -2,3786 | 5,657859 |
| 7 | 1,128379167 | -3,7734 | 14,23839 |
| 8 | 6,579524642 | 1,67777 | 2,814901 |
| 9 | 8,058239062 | 3,15648 | 9,963373 |
| 1 | 1,128379167 | -3,7734 | 14,23839 |
| 0 | 5,863230143 | 0,96147 | 0,924429 |
| 11 | 1,954410048 | -2,9473 | 8,68686 |
| 12 | 8,956231982 | 4,05447 | 16,43876 |
| 13 | 6,180387232 | 1,27863 | 1,634893 |
| 14 | 1,954410048 | -2,9473 | 8,68686 |
| 15 | 1,954410048 | -2,9473 | 8,68686 |
| 16 | 4,918490759 | 0,01673 | 0,00028 |
| 17 | 3,742410319 | -1,1593 | 1,344087 |
| Σ | 83,329 | | 117,2206 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 83,32989$$

$$\bar{x} = \frac{83,32989}{17}$$

$$\bar{x} = 4,901$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 117,220$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 2,706$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{2,706}{\sqrt{17}}$$

$$= \frac{2,706}{4,123}$$

$$= 0,656$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$
- Derajat Kebebasan (db) = n-1
= 17-1
= 16
- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 16)$
 $t(0,025; 16) = 2,120$
- interval
$$\bar{x} - \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\}$$
$$4,901 - (2,120)0,656 \leq x \leq 4,901 + (2,120)0,656$$
$$3,511 \leq x \leq 6,291$$

Tabel 6. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D^3 (mm ³) | D^2 (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 6,18039 | 0,01342 | 0,082941 | 0,000571 | 0,006879 |
| 5,86323 | 0,01342 | 0,078685 | 0,000487 | 0,006191 |
| 5,41152 | 0,01342 | 0,072623 | 0,000383 | 0,005274 |
| 4,91849 | 0,01342 | 0,066006 | 0,000288 | 0,004357 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522 |
| JUMLAH | | | 0,001855 | 0,025224 |
| SMD | | | 0,073542 | |

Sehingga didapatkan nilai SMD rata-rata (3 kali pengambilan gambar) pada \dot{m} udara dari kompresor = 0,117 g/s , \dot{m} udara dari blower = 15,419 g/s, dan \dot{m} air = 0,57055 g/s

Tabel 7. Data Rata-Rata Ukuran Droplet Besar

| | SMD (mm) | SMD (μm) |
|----------------------|----------|-----------------------|
| Pengambilan Gambar 1 | 0,064822 | 64,82 |
| Pengambilan Gambar 2 | 0,067833 | 67,83 |
| Pengambilan Gambar 3 | 0,073542 | 73,54 |
| Rata-rata | | 69,93 |

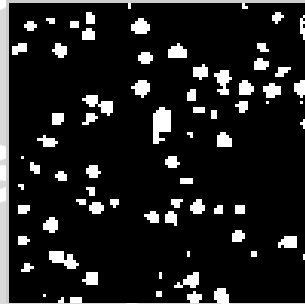
- Pengukuran Droplet Sedang (3 kali pengambilan gambar)

\dot{m} udara dari kompresor = 0,2265 g/s

\dot{m} udara dari blower = 15,3198 g/s

\dot{m} air = 0,57055 g/s.

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 51,946365 μm**



Gambar 4 : Foto Droplet SMD 51,946365 μm

Tabel 8. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | ($x_i - \bar{x}$) | ($x_i - \bar{x}$) ² |
|----|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 1 | 4,370193722 | 0,518321252 | 0,268657 |
| 2 | 1,954410048 | -1,897462422 | 3,600364 |
| 3 | 3,742410319 | -0,109462151 | 0,011982 |
| 4 | 3,568248232 | -0,283624238 | 0,080443 |
| 5 | 1,128379167 | -2,723493303 | 7,417416 |
| 6 | 3,191538243 | -0,660334227 | 0,436041 |
| 7 | 3,191538243 | -0,660334227 | 0,436041 |
| 8 | 3,385137501 | -0,466734969 | 0,217842 |
| 9 | 4,513516668 | 0,661644198 | 0,437773 |
| 1 | 4,787307365 | 0,935434895 | 0,875038 |
| 0 | 1,128379167 | -2,723493303 | 7,417416 |
| 11 | 2,523132522 | -1,328739948 | 1,76555 |
| 12 | 6,675581178 | 2,823708708 | 7,973331 |
| 13 | 4,652426492 | 0,800554022 | 0,640887 |
| 14 | 4,370193722 | 0,518321252 | 0,268657 |
| 15 | 3,385137501 | -0,466734969 | 0,217842 |
| 17 | 2,256758334 | -1,595114136 | 2,544389 |
| 18 | 5,170882946 | 1,319010476 | 1,739789 |
| 19 | 2,763953196 | -1,087919274 | 1,183568 |
| 20 | 2,523132522 | -1,328739948 | 1,76555 |
| 21 | 4,222008246 | 0,370135776 | 0,137 |
| 22 | 6,482044814 | 2,630172344 | 6,917807 |

| | | | |
|----|-------------|--------------|----------|
| 23 | 3,908820095 | 0,056947625 | 0,003243 |
| 24 | 4,652426492 | 0,800554022 | 0,640887 |
| 25 | 3,742410319 | -0,109462151 | 0,011982 |
| 26 | 4,370193722 | 0,518321252 | 0,268657 |
| 27 | 2,985410661 | -0,866461809 | 0,750756 |
| 28 | 4,513516668 | 0,661644198 | 0,437773 |
| 29 | 3,191538243 | -0,660334227 | 0,436041 |
| 30 | 2,985410661 | -0,866461809 | 0,750756 |
| 31 | 1,595769122 | -2,256103348 | 5,090002 |
| 32 | 5,292567428 | 1,440694958 | 2,075602 |
| 33 | 5,527906392 | 1,676033922 | 2,80909 |
| 34 | 4,513516668 | 0,661644198 | 0,437773 |
| 35 | 4,222008246 | 0,370135776 | 0,137 |
| 36 | 8,214724333 | 4,362851863 | 19,03448 |
| 37 | 2,256758334 | -1,595114136 | 2,544389 |
| 38 | 1,595769122 | -2,256103348 | 5,090002 |
| 39 | 4,370193722 | 0,518321252 | 0,268657 |
| 40 | 4,370193722 | 0,518321252 | 0,268657 |
| 41 | 5,41151638 | 1,55964391 | 2,432489 |
| 42 | 3,385137501 | -0,466734969 | 0,217842 |
| 43 | 5,292567428 | 1,440694958 | 2,075602 |
| 44 | 3,191538243 | -0,660334227 | 0,436041 |
| 45 | 3,742410319 | -0,109462151 | 0,011982 |
| 46 | 1,954410048 | -1,897462422 | 3,600364 |
| 47 | 1,595769122 | -2,256103348 | 5,090002 |
| 48 | 5,292567428 | 1,440694958 | 2,075602 |
| 49 | 4,787307365 | 0,935434895 | 0,875038 |
| 50 | 4,652426492 | 0,800554022 | 0,640887 |
| 51 | 3,191538243 | -0,660334227 | 0,436041 |
| 52 | 2,763953196 | -1,087919274 | 1,183568 |
| 53 | 5,863230143 | 2,011357673 | 4,04556 |
| 54 | 3,191538243 | -0,660334227 | 0,436041 |
| 55 | 6,07650778 | 2,22463531 | 4,949002 |
| 56 | 5,170882946 | 1,319010476 | 1,739789 |
| 57 | 4,068428945 | 0,216556475 | 0,046897 |
| 58 | 3,908820095 | 0,056947625 | 0,003243 |
| 59 | 3,385137501 | -0,466734969 | 0,217842 |

| | | | |
|----------|-------------|--------------|----------|
| 60 | 5,046265044 | 1,194392574 | 1,426574 |
| 61 | 1,954410048 | -1,897462422 | 3,600364 |
| 62 | 1,595769122 | -2,256103348 | 5,090002 |
| 63 | 2,256758334 | -1,595114136 | 2,544389 |
| 64 | 4,513516668 | 0,661644198 | 0,437773 |
| 65 | 3,385137501 | -0,466734969 | 0,217842 |
| 66 | 5,292567428 | 1,440694958 | 2,075602 |
| 67 | 1,128379167 | -2,723493303 | 7,417416 |
| 68 | 3,568248232 | -0,283624238 | 0,080443 |
| 69 | 3,568248232 | -0,283624238 | 0,080443 |
| 70 | 5,046265044 | 1,194392574 | 1,426574 |
| 71 | 5,970821321 | 2,118948851 | 4,489944 |
| 72 | 4,787307365 | 0,935434895 | 0,875038 |
| Σ | 277,334825 | | 147,6854 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 277,334825$$

$$\bar{x} = \frac{277,334825}{72}$$

$$\bar{x} = 3,852$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 147,6854$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 1,442$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,442}{\sqrt{72}}$$

$$= \frac{1,442}{8,485}$$

$$= 0,170$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$
- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 72-1$$

$$= 71$$
- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 71)$
 $t(0,025; 71) = 1,996$
- interval

$$\bar{x} - \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\}$$

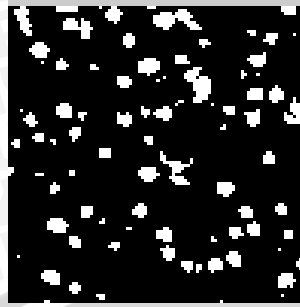
$$3,852 - (1,996)0,170 \leq x \leq 3,852 + (1,996)0,170$$

$$3,512 \leq x \leq 4,24$$

Tabel 9. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210285 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210285 |
| 4,06843 | 0,01342 | 0,054598 | 0,000163 | 0,002980978 |
| 3,90882 | 0,01342 | 0,052456 | 0,000144 | 0,00275167 |
| 3,90882 | 0,01342 | 0,052456 | 0,000144 | 0,00275167 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,56825 | 0,01342 | 0,047886 | 0,00011 | 0,002293061 |
| 3,56825 | 0,01342 | 0,047886 | 0,00011 | 0,002293061 |
| 3,56825 | 0,01342 | 0,047886 | 0,00011 | 0,002293061 |
| JUMLAH | | | 0,001525 | 0,029351162 |
| SMD | | | 0,051946365 | |

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 52,969506 μm**

Gambar 5 : Foto Droplet SMD 52,969506 μm

Tabel 10. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 2,523132522 | -1,28559 | 1,652751 |
| 2 | 2,985410661 | -0,82332 | 0,677848 |
| 3 | 6,579524642 | 2,770798 | 7,677324 |
| 4 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 5 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 6 | 4,222008246 | 0,413282 | 0,170802 |
| 7 | 5,527906392 | 1,71918 | 2,955581 |
| 8 | 3,568248232 | -0,24048 | 0,05783 |
| 9 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 1 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 0 | 5,527906392 | 1,71918 | 2,955581 |
| 11 | 3,742410319 | -0,06632 | 0,004398 |
| 12 | 5,863230143 | 2,054504 | 4,220987 |
| 13 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 14 | 3,385137501 | -0,42359 | 0,179427 |
| 15 | 4,222008246 | 0,413282 | 0,170802 |
| 17 | 3,742410319 | -0,06632 | 0,004398 |
| 18 | 5,292567428 | 1,483841 | 2,201785 |
| 19 | 7,04672564 | 3,237999 | 10,48464 |
| 20 | 4,222008246 | 0,413282 | 0,170802 |
| 21 | 2,256758334 | -1,55197 | 2,408604 |
| 22 | 4,222008246 | 0,413282 | 0,170802 |
| 23 | 3,908820095 | 0,100094 | 0,010019 |
| 24 | 2,763953196 | -1,04477 | 1,091551 |
| 25 | 4,370193722 | 0,561468 | 0,315246 |
| 26 | 2,523132522 | -1,28559 | 1,652751 |
| 27 | 2,523132522 | -1,28559 | 1,652751 |
| 28 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 29 | 3,908820095 | 0,100094 | 0,010019 |

| | | | |
|----|-------------|----------|----------|
| 30 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 31 | 5,292567428 | 1,483841 | 2,201785 |
| 32 | 3,191538243 | -0,61719 | 0,380921 |
| 33 | 2,763953196 | -1,04477 | 1,091551 |
| 34 | 4,652426492 | 0,8437 | 0,71183 |
| 35 | 4,918490759 | 1,109765 | 1,231577 |
| 36 | 4,513516668 | 0,70479 | 0,49673 |
| 37 | 1,595769122 | -2,21296 | 4,897179 |
| 38 | 4,787307365 | 0,978581 | 0,957621 |
| 39 | 6,383076486 | 2,57435 | 6,62728 |
| 40 | 5,753627392 | 1,944901 | 3,782641 |
| 41 | 3,191538243 | -0,61719 | 0,380921 |
| 42 | 3,191538243 | -0,61719 | 0,380921 |
| 43 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 44 | 8,884866447 | 5,07614 | 25,7672 |
| 45 | 5,046265044 | 1,237539 | 1,531502 |
| 46 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 47 | 5,046265044 | 1,237539 | 1,531502 |
| 48 | 7,39927702 | 3,590551 | 12,89206 |
| 49 | 4,513516668 | 0,70479 | 0,49673 |
| 50 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 51 | 4,068428945 | 0,259703 | 0,067446 |
| 52 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 53 | 3,908820095 | 0,100094 | 0,010019 |
| 54 | 8,884866447 | 5,07614 | 25,7672 |
| 55 | 2,523132522 | -1,28559 | 1,652751 |
| 56 | 3,191538243 | -0,61719 | 0,380921 |
| 57 | 4,918490759 | 1,109765 | 1,231577 |
| 58 | 1,128379167 | -2,68035 | 7,18426 |
| 59 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 60 | 5,527906392 | 1,71918 | 2,955581 |
| 61 | 1,595769122 | -2,21296 | 4,897179 |
| 62 | 1,954410048 | -1,85432 | 3,438488 |
| 63 | 3,742410319 | -0,06632 | 0,004398 |
| 64 | 5,046265044 | 1,237539 | 1,531502 |
| 65 | 4,370193722 | 0,561468 | 0,315246 |
| 66 | 4,513516668 | 0,70479 | 0,49673 |

| | | | |
|----------|-------------|----------|----------|
| 67 | 2,256758334 | -1,55197 | 2,408604 |
| 68 | 5,046265044 | 1,237539 | 1,531502 |
| 69 | 2,523132522 | -1,28559 | 1,652751 |
| 70 | 5,046265044 | 1,237539 | 1,531502 |
| 71 | 4,918490759 | 1,109765 | 1,231577 |
| 72 | 4,513516668 | 0,70479 | 0,49673 |
| Σ | 274,2282847 | | 228,7791 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 274,2282847$$

$$\bar{x} = \frac{274,2282847}{72}$$

$$\bar{x} = 3,808$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 228,7791$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 1,795$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,795}{\sqrt{72}}$$

$$= \frac{1,795}{8,485}$$

$$= 0,212$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$

- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 72-1$$

$$= 71$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 71)$

$$t(0,025; 71) = 1,996$$

- interval

$$\bar{x} - \left\{ t_{\left(\frac{\alpha}{2}; db \right)} \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t_{\left(\frac{\alpha}{2}; db \right)} \cdot \bar{\delta} \right\}$$

$$3,808 - (1,996)0,212 \leq x \leq 3,808 + (1,996)0,212$$

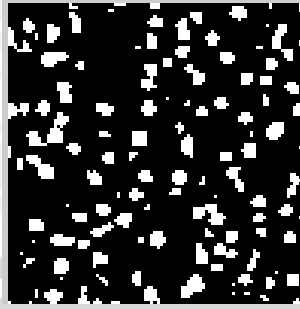
$$3,385 \leq x \leq 4,332$$

Tabel 11. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210285 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210285 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210285 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210285 |
| 4,06843 | 0,01342 | 0,054598 | 0,000163 | 0,002980978 |
| 3,90882 | 0,01342 | 0,052456 | 0,000144 | 0,00275167 |
| 3,90882 | 0,01342 | 0,052456 | 0,000144 | 0,00275167 |
| 3,90882 | 0,01342 | 0,052456 | 0,000144 | 0,00275167 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,56825 | 0,01342 | 0,047886 | 0,00011 | 0,002293061 |
| 3,38514 | 0,01342 | 0,045429 | 9,38E-05 | 0,002063756 |
| JUMLAH | | | 0,001907 | 0,036001036 |
| SMD | | | 0,052969506 | |



- Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 55,09364 μm

Gambar 6 : Foto Droplet SMD 55,09364 μm

Tabel 12. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | ($x_i - \bar{x}$) | ($x_i - \bar{x}$) ² |
|----|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 1 | 5,41151638 | 1,511662 | 2,285123 |
| 2 | 5,41151638 | 1,511662 | 2,285123 |
| 3 | 2,56758334 | -1,33227 | 1,774945 |
| 4 | 1,54410048 | -2,35575 | 5,549575 |
| 5 | 3,191538243 | -0,70832 | 0,501711 |
| 6 | 1,128379167 | -2,77147 | 7,681073 |
| 7 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |
| 8 | 2,763953196 | -1,1359 | 1,290271 |
| 9 | 8,740387445 | 4,840533 | 23,43076 |
| 1 | 6,863662518 | 2,963809 | 8,784161 |
| 0 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 11 | 1,128379167 | -2,77147 | 7,681073 |
| 12 | 1,128379167 | -2,77147 | 7,681073 |
| 13 | 1,595769122 | -2,30408 | 5,308807 |
| 14 | 4,652426492 | 0,752572 | 0,566365 |
| 15 | 1,954410048 | -1,94544 | 3,784752 |
| 17 | 6,383076486 | 2,483222 | 6,166394 |
| 18 | 5,170882946 | 1,271029 | 1,615515 |
| 19 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 20 | 5,641895835 | 1,742042 | 3,03471 |
| 21 | 5,292567428 | 1,392713 | 1,939651 |
| 22 | 5,970821321 | 2,070967 | 4,288906 |
| 23 | 1,128379167 | -2,77147 | 7,681073 |
| 24 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |
| 25 | 1,128379167 | -2,77147 | 7,681073 |
| 26 | 2,256758334 | -1,6431 | 2,699763 |
| 27 | 5,046265044 | 1,146411 | 1,314258 |
| 28 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |

| | | | |
|----|-------------|----------|----------|
| 29 | 2,985410661 | -0,91444 | 0,836207 |
| 30 | 3,742410319 | -0,15744 | 0,024789 |
| 31 | 4,652426492 | 0,752572 | 0,566365 |
| 32 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 33 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 34 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 35 | 3,191538243 | -0,70832 | 0,501711 |
| 36 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 37 | 4,652426492 | 0,752572 | 0,566365 |
| 38 | 2,763953196 | -1,1359 | 1,290271 |
| 39 | 2,985410661 | -0,91444 | 0,836207 |
| 40 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |
| 41 | 1,595769122 | -2,30408 | 5,308807 |
| 42 | 3,191538243 | -0,70832 | 0,501711 |
| 43 | 2,256758334 | -1,6431 | 2,699763 |
| 44 | 5,170882946 | 1,271029 | 1,615515 |
| 45 | 1,595769122 | -2,30408 | 5,308807 |
| 46 | 2,763953196 | -1,1359 | 1,290271 |
| 47 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |
| 48 | 5,641895835 | 1,742042 | 3,03471 |
| 49 | 4,068428945 | 0,168575 | 0,028418 |
| 50 | 1,595769122 | -2,30408 | 5,308807 |
| 51 | 4,513516668 | 0,613663 | 0,376582 |
| 52 | 2,256758334 | -1,6431 | 2,699763 |
| 53 | 6,07650778 | 2,176654 | 4,737822 |
| 54 | 4,918490759 | 1,018637 | 1,037621 |
| 55 | 1,954410048 | -1,94544 | 3,784752 |
| 56 | 5,170882946 | 1,271029 | 1,615515 |
| 57 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |
| 58 | 4,222008246 | 0,322154 | 0,103783 |
| 59 | 2,763953196 | -1,1359 | 1,290271 |
| 60 | 5,292567428 | 1,392713 | 1,939651 |
| 61 | 3,385137501 | -0,51472 | 0,264933 |
| 62 | 1,128379167 | -2,77147 | 7,681073 |
| 63 | 2,985410661 | -0,91444 | 0,836207 |
| 64 | 5,170882946 | 1,271029 | 1,615515 |
| 65 | 5,527906392 | 1,628052 | 2,650555 |

| | | | |
|----------|-------------|----------|----------|
| 66 | 4,513516668 | 0,613663 | 0,376582 |
| 67 | 2,985410661 | -0,91444 | 0,836207 |
| 68 | 5,527906392 | 1,628052 | 2,650555 |
| 69 | 7,04672564 | 3,146872 | 9,902801 |
| 70 | 5,527906392 | 1,628052 | 2,650555 |
| 71 | 1,954410048 | -1,94544 | 3,784752 |
| 72 | 4,068428945 | 0,168575 | 0,028418 |
| Σ | 280,7895 | | 202,4572 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 280,7895$$

$$\bar{x} = \frac{280,7895}{72}$$

$$\bar{x} = 3,899$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 202,4572$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 1,425$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,425}{\sqrt{72}}$$

$$= \frac{1,795}{8,485}$$

$$= 0,168$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$
- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 72-1$$

$$= 71$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 71)$
 $t(0,025; 71) = 1,996$
- interval

$$\bar{x} - \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \delta \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \delta \right\}$$

$$3,899 - (1,996)0,168 \leq x \leq 3,899 + (1,996)0,168$$

$$3,373 \leq x \leq 4,244$$

Tabel 13. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,22201 | 0,01342 | 0,056659 | 0,000182 | 0,003210282 |
| 4,06843 | 0,01342 | 0,054598 | 0,000163 | 0,002980976 |
| 4,06843 | 0,01342 | 0,054598 | 0,000163 | 0,002980976 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000127 | 0,002522364 |
| 3,38514 | 0,01342 | 0,045429 | 9,38E-05 | 0,002063753 |
| JUMLAH | | | 0,001819 | 0,033020044 |
| SMD | | | 0,05509364 | |

Sehingga didapatkan nilai SMD rata-rata (3 kali pengambilan gambar) pada \dot{m} udara dari kompresor = 0,2265 g/s , \dot{m} udara dari blower = 15,3198 g/s, dan \dot{m} air = 0,57055 g/s

Tabel 14. Data Rata-Rata Ukuran Droplet Sedang

| | SMD (mm) | SMD (μm) |
|----------------------|----------|----------|
| Pengambilan Gambar 1 | 0,05195 | 51,95 |
| Pengambilan Gambar 2 | 0,05297 | 52,97 |
| Pengambilan Gambar 3 | 0,05509 | 55,09 |
| Rata-rata | | 53,33 |

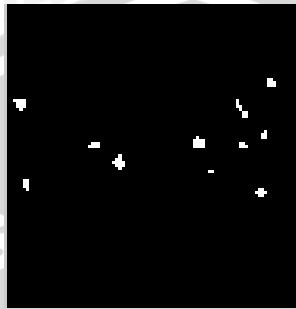
- Pengukuran Droplet Kecil (3 kali pengambilan gambar)

\dot{m} udara dari kompresor = 0,3376 g/s

\dot{m} udara dari blower = 15,22 g/s

\dot{m} air = 0,57055 g/s.

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 39,62 μm**



Gambar 7 : Foto Droplet SMD 39,62 μm

Tabel 15. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----------|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 3,742410319 | 0,657472 | 0,43227 |
| 2 | 2,985410661 | -0,09953 | 0,009906 |
| 3 | 2,985410661 | -0,09953 | 0,009906 |
| 4 | 3,742410319 | 0,657472 | 0,43227 |
| 5 | 4,068428945 | 0,983491 | 0,967254 |
| 6 | 1,595769122 | -1,48917 | 2,217624 |
| 7 | 3,385137501 | 0,3002 | 0,09012 |
| 8 | 2,523132522 | -0,56181 | 0,315625 |
| 9 | 3,191538243 | 0,1066 | 0,011364 |
| 10 | 2,523132522 | -0,56181 | 0,315625 |
| 11 | 3,191538243 | 0,1066 | 0,011364 |
| Σ | 33,93432 | | 4,813 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 33,93432$$

$$\bar{x} = \frac{33,93432}{11}$$

$$\bar{x} = 3,084$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 4,813$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 0,693$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{0,693}{\sqrt{11}}$$

$$= \frac{0,693}{3,317}$$

$$= 0,21$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$

- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 11-1$$

$$= 10$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 10)$
 $t(0,025; 10) = 2,228$

- interval

$$\bar{x} - \left\{ t \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\}$$

$$3,084 - (2,228)0,21 \leq x \leq 3,084 + (2,228)0,21$$

$$2,50 \leq x \leq 3,30$$

Tabel 16. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| JUMLAH | | | 0,000363402 | 0,009172 |
| SMD | | | 0,03962 | |

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 43,103 μm**

Gambar 8 : Foto Droplet SMD 43,103 μm

Tabel 17. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----------|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 2,523132522 | 3,264202 | 0,549184 |
| 2 | 1,128379167 | 3,264202 | 4,561739 |
| 3 | 6,07650778 | 3,264202 | 7,909064 |
| 4 | 2,985410661 | 3,264202 | 0,077725 |
| 5 | 1,128379167 | 3,264202 | 4,561739 |
| 6 | 3,742410319 | 3,264202 | 0,228683 |
| 7 | 1,128379167 | 3,264202 | 4,561739 |
| 8 | 4,652426492 | 3,264202 | 1,927167 |
| 9 | 4,918490759 | 3,264202 | 2,736671 |
| 1 | 2,523132522 | 3,264202 | 0,549184 |
| 0 | 3,568248232 | 3,264202 | 0,092444 |
| 11 | 2,256758334 | 3,264202 | 1,014943 |
| 12 | 2,256758334 | 3,264202 | 1,014943 |
| 13 | 3,742410319 | 3,264202 | 0,228683 |
| 14 | 2,763953196 | 3,264202 | 0,250249 |
| 15 | 3,568248232 | 3,264202 | 0,092444 |
| Σ | 48,96303 | | 30,3566 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 48,963$$

$$\bar{x} = \frac{48,96303}{14}$$

$$\bar{x} = 3,264$$

$$\Sigma (x_i - \bar{x})^2 = 30,3566$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 1,472$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,4725}{\sqrt{15}}$$

$$= \frac{1,4725}{3,873}$$

$$= 0,21$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$
- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 15-1$$

$$= 14$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 14)$
 $t(0,025; 14) = 2,145$

- interval

$$\bar{x} - \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t \cdot \left(\frac{\alpha}{2}; db \right) \cdot \bar{\delta} \right\}$$

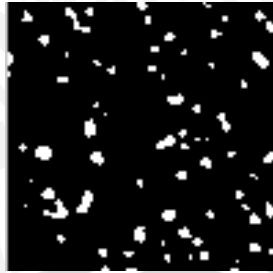
$$3,264 - (2,145)0,380 \leq x \leq 3,264 + (2,145)0,380$$

$$2,33 \leq x \leq 4,10$$

Tabel 18. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000126681 | 0,002522 |
| 3,74241 | 0,01342 | 0,050223 | 0,000126681 | 0,002522 |
| 3,56825 | 0,01342 | 0,047886 | 0,000109805 | 0,002293 |
| 3,56825 | 0,01342 | 0,047886 | 0,000109805 | 0,002293 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,25676 | 0,01342 | 0,030286 | 2,77788E-05 | 0,000917 |
| 2,25676 | 0,01342 | 0,030286 | 2,77788E-05 | 0,000917 |
| JUMLAH | | | 0,000721515 | 0,016739 |
| SMD | | | 0,043103 | |

- **Lampiran Droplet Air dengan Ukuran SMD 37,91 μm**

Gambar 9 : Foto Droplet SMD 37,91 μm

Tabel 19. Data Ukuran Diameter Droplet

| No | Ukuran droplet matlab (x_i) | ($x_i - \bar{x}$) | ($x_i - \bar{x}$) ² |
|----|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 1 | 3,191538243 | 3,19154 | 0,011147 |
| 2 | 1,595769122 | 1,59577 | 2,220663 |
| 3 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |
| 4 | 2,523132522 | 2,52313 | 0,316773 |
| 5 | 3,568248232 | 3,56825 | 0,232604 |
| 6 | 1,128379167 | 1,12838 | 3,832115 |
| 7 | 1,128379167 | 1,12838 | 3,832115 |
| 8 | 5,641895835 | 5,6419 | 6,532818 |
| 9 | 3,742410319 | 3,74241 | 0,43093 |
| 1 | 4,370193722 | 4,37019 | 1,649261 |
| 0 | 6,07650778 | 6,07651 | 8,943388 |
| 11 | 3,191538243 | 3,19154 | 0,011147 |
| 12 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 13 | 5,641895835 | 5,6419 | 6,532818 |
| 14 | 1,595769122 | 1,59577 | 2,220663 |
| 15 | 5,970821321 | 5,97082 | 8,322436 |
| 17 | 2,985410661 | 2,98541 | 0,01011 |
| 18 | 5,170882946 | 5,17088 | 4,346912 |
| 19 | 4,652426492 | 4,65243 | 2,453824 |
| 20 | 2,256758334 | 2,25676 | 0,687572 |
| 21 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |
| 22 | 3,191538243 | 3,19154 | 0,011147 |
| 23 | 2,985410661 | 2,98541 | 0,01011 |
| 24 | 1,128379167 | 1,12838 | 3,832115 |
| 25 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 26 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 27 | 3,568248232 | 3,56825 | 0,232604 |
| 28 | 4,918490759 | 4,91849 | 3,358176 |
| 29 | 3,742410319 | 3,74241 | 0,43093 |

| | | | |
|----|-------------|---------|----------|
| 30 | 2,523132522 | 2,52313 | 0,316773 |
| 31 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 32 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 33 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 34 | 5,170882946 | 5,17088 | 4,346912 |
| 35 | 1,595769122 | 1,59577 | 2,220663 |
| 36 | 4,652426492 | 4,65243 | 2,453824 |
| 37 | 1,595769122 | 1,59577 | 2,220663 |
| 38 | 3,385137501 | 3,38514 | 0,089508 |
| 39 | 2,523132522 | 2,52313 | 0,316773 |
| 40 | 4,652426492 | 4,65243 | 2,453824 |
| 41 | 3,568248232 | 3,56825 | 0,232604 |
| 42 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 43 | 4,068428945 | 4,06843 | 0,965249 |
| 44 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |
| 45 | 2,523132522 | 2,52313 | 0,316773 |
| 46 | 1,595769122 | 1,59577 | 2,220663 |
| 47 | 2,985410661 | 2,98541 | 0,010111 |
| 48 | 3,191538243 | 3,19154 | 0,011147 |
| 49 | 1,595769122 | 1,59577 | 2,220663 |
| 50 | 3,908820095 | 3,90882 | 0,677102 |
| 51 | 3,385137501 | 3,38514 | 0,089508 |
| 52 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |
| 53 | 1,128379167 | 1,12838 | 3,832115 |
| 54 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 55 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |
| 56 | 3,191538243 | 3,19154 | 0,011147 |
| 57 | 4,513516668 | 4,51352 | 2,037924 |
| 58 | 2,256758334 | 2,25676 | 0,687572 |
| 59 | 2,523132522 | 2,52313 | 0,316773 |
| 60 | 2,763953196 | 2,76395 | 0,103687 |
| 61 | 2,985410661 | 2,98541 | 0,010111 |
| 62 | 1,128379167 | 1,12838 | 3,832115 |
| 63 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |
| 64 | 2,523132522 | 2,52313 | 0,316773 |
| 65 | 2,256758334 | 2,25676 | 0,687572 |
| 66 | 1,954410048 | 1,95441 | 1,280401 |

| | | | |
|----------|-------------|---------|----------|
| 67 | 3,908820095 | 3,90882 | 0,677102 |
| 68 | 3,742410319 | 3,74241 | 0,43093 |
| 69 | 5,41151638 | 5,41152 | 5,408222 |
| 70 | 3,385137501 | 3,38514 | 0,089508 |
| 71 | 4,222008246 | 4,22201 | 1,29061 |
| 72 | 3,568248232 | 3,56825 | 0,232604 |
| Σ | 222,189 | | 111,3822 |

- Rata-rata

$$\Sigma x_i = 222,189$$

$$\bar{x} = \frac{222,189}{72}$$

$$\bar{x} = 3,085$$

$$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 111,38$$

- Simpangan Baku

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 1,252$$

- Simpangan baku rata-rata $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,252}{\sqrt{72}}$$

$$= \frac{1,252}{8,485}$$

$$= 0,148$$

- Dengan mengambil resiko kesalahan $\alpha = 5\%$

- Derajat Kebebasan (db) = n-1

$$= 72-1$$

$$= 71$$

- $t(\alpha/2; db) = t(0,005/2; 71)$

$$t(0,025; 71) = 1,996$$

- interval

$$\bar{x} - \left\{ t_{\left(\frac{\alpha}{2}; db \right)} \cdot \bar{\delta} \right\} \leq x \leq \bar{x} + \left\{ t_{\left(\frac{\alpha}{2}; db \right)} \cdot \bar{\delta} \right\}$$

$$3,085 - (1,996)0,148 \leq x \leq 3,085 + (1,996)0,148$$

$$2,33 \leq x \leq 3,22$$

Tabel 20. Data pengukuran SMD setelah dilakukan uji validasi data

| Ukuran droplet matlab (pixel) | Konvert | Ukuran Sebenarnya (mm) | D ³ (mm ³) | D ² (mm ²) |
|-------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 3,19154 | 0,01342 | 0,04283 | 7,85703E-05 | 0,001834 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,98541 | 0,01342 | 0,040064 | 6,43087E-05 | 0,001605 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,76395 | 0,01342 | 0,037092 | 5,10326E-05 | 0,001376 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,52313 | 0,01342 | 0,03386 | 3,88219E-05 | 0,001147 |
| 2,25676 | 0,01342 | 0,030286 | 2,77788E-05 | 0,000917 |
| 2,25676 | 0,01342 | 0,030286 | 2,77788E-05 | 0,000917 |
| 2,25676 | 0,01342 | 0,030286 | 2,77788E-05 | 0,000917 |
| JUMLAH | | | 0,001425648 | 0,037606 |
| SMD | | | 0,03791 | |

Sehingga didapatkan nilai SMD rata-rata (3 kali pengambilan gambar) pada \dot{m} udara dari kompresor = 0,3376 g/s , \dot{m} udara dari blower = 15,22 g/s, dan \dot{m} air = 0,57055 g/s.

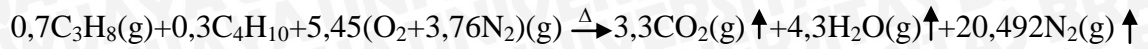
Tabel 21. Data Rata-Rata Ukuran Droplet Kecil

| | SMD (mm) | SMD (μm) |
|----------------------|----------|-----------------------|
| Pengambilan Gambar 1 | 0,03962 | 39,62 |
| Pengambilan Gambar 2 | 0,04310 | 43,1 |
| Pengambilan Gambar 3 | 0,03791 | 37,91 |
| Rata-rata | | 40,21 |



Perhitungan AFR dan Equivalen Ratio

- Perhitungan AFR *stoichiometry* gas LPG dengan 70 % propana dan 30 % butana :



$$\begin{aligned} AFR_{stoic} &= \frac{\text{massa molar Udara}}{\text{Massa molar Bahan bakar}} \\ &= \frac{\text{massa molar } 5,45(O_2+3,76N_2)}{\text{massa molar } (0,7C_3H_8+0,3C_4H_{10})} \\ &= \frac{5,45(32+\frac{79}{21} \times 28)}{0,7(36+8)+0,3(48+10)} \\ &= \frac{748,467}{48,2} \\ &= 15,528 \frac{\text{gram udara}}{\text{gram bahan bakar}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AFR_{actual} &= \frac{\text{massa alir udara}}{\text{massa alir bahan bakar}} \\ &= \frac{21,536 \times 10^{-3} \text{ g/s}}{1,38 \times 10^{-3} \text{ g/s}} \\ &= 15,57 \frac{\text{gram udara}}{\text{gram bahan bakar}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Equivalen ratio} &= \frac{AFR_{Stoic}}{AFR \text{ aktual}} \\ &= \frac{15,528}{15,605} \\ &= 0,997 \approx 1 \end{aligned}$$

*AFR dihitung pada saat nyala api awal