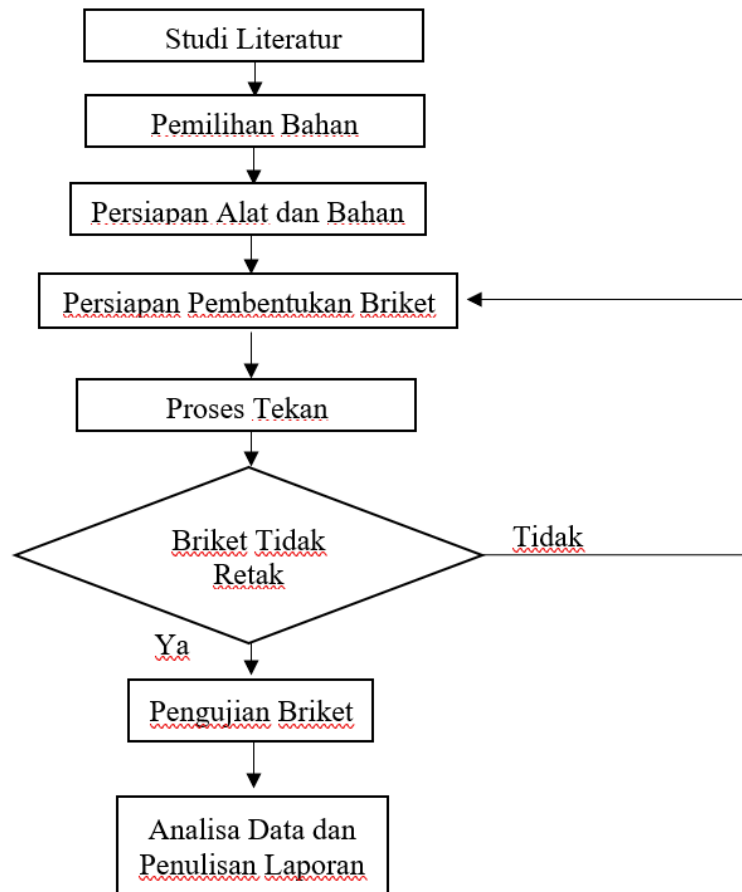


3. METODE PENYELESAIAN TUGAS AKHIR

3.1 Diagram *Flowchart* Metodologi Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, prosedur dan langkah – langkah penelitian digambarkan pada sebuah *flowchart* di bawah ini.



Gambar 3.1 Flowchart Diagram

3.2 Studi literatur

Studi literatur perlu digunakan sebagai referensi dalam melakukan suatu percobaan. Studi literatur yang digunakan berupa jurnal dan buku. Beberapa informasi penting yang diperoleh dari studi pustaka adalah teori-teori, data statistik, dan penelitian serupa yang sudah dilakukan oleh peneliti lain.

3.3 Pemilihan Bahan

Setelah studi literatur dilakukan, bahan yang dipilih terbagi dalam 2 kategori yaitu bahan utama dan bahan perekat. Limbah daun angsana dipilih sebagai bahan utama. Bahan perekat yang digunakan adalah limbah pepaya dan buah nanas.

3.4 Persiapan alat, bahan, dan material

Sebelum memulai penelitian dan percobaan, alat dan bahan percobaan harus dikumpulkan terlebih dahulu. Beberapa alat yang digunakan selama percobaan akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab berikut.

3.4.1 Persiapan alat dan bahan

Percobaan menggunakan beberapa alat, beberapa alat yang disiapkan untuk proses percobaan antara lain:

1. Blender

Blender ini digunakan untuk menggiling dan memproses limbah limbah daun angsana menjadi serbuk. Limbah yang telah dikeringkan langsung di proses menjadi serbuk dengan gilingan ini. Gambar 3.2 menunjukkan gilingan yang digunakan pada percobaan.



Gambar 3.2 Blender

2. Wiremesh

Wiremesh ini digunakan untuk proses pengayakan. Proses pengayakan ini berfungsi sebagai penentuan ukuran partikel baik pada briket maupun pada pengujian pada bom kalorimeter. Pada pengujian bom kalorimeter, ukuran wiremesh yang digunakan sebesar 60 mesh. Sedangkan pada pembentukan briket digunakan ukuran wiremesh sebesar 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh. Gambar 3.3 menunjukkan wiremesh yang digunakan.



Gambar 3.3 Wiremesh

3. Tabung oksigen

Tabung oksigen ini digunakan pada persiapan bom kalorimeter. Karena proses pengujian bom kalorimeter membutuhkan tekanan sebesar 30 Psi pada setiap percobaannya. Gambar 3.4 menunjukkan tabung oksigen yang digunakan.



Gambar 3.4 Tabung oksigen

4. Timbangan *digital*

Timbangan *digital* ini perlu digunakan untuk menimbang massa dari bubuk daun angkana untuk digunakan pada bom kalorimeter. Timbangan yang digunakan memiliki kepresisian dua angka di belakang koma. Dengan menggunakan timbangan ini akan membuat hasil dari bom kalorimeter lebih presisi karena pengukuran massa dari bahan diukur dengan kepresisian yang tinggi. Gambar 3.5 menunjukkan timbangan yang digunakan selama percobaan.



Gambar 3.5 Timbangan digital

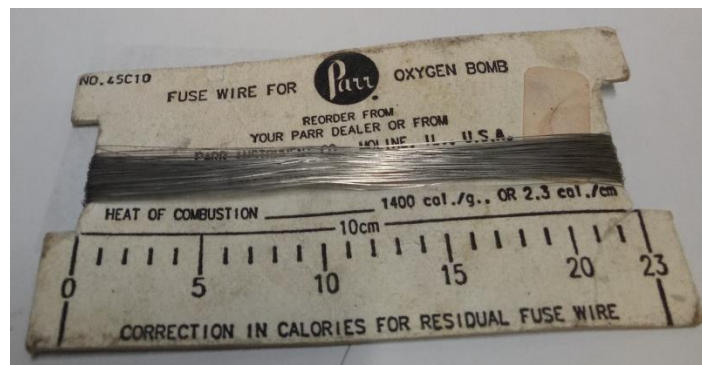
5. Bom kalorimeter

Penggunaan bom kalorimeter ini digunakan untuk mengukur nilai kalor dari suatu bahan uji. Pada percobaan ini jenis bom kalorimeter yang digunakan adalah *plain jacket bomb calorimeter* dengan spesifikasi terdapat pada lampiran 6. Gambar 3.6 menunjukkan bom kalorimeter yang digunakan. Jenis bom kalorimeter ini menggunakan tekanan oksigen dalam tabung peledaknya. Penggunaan bom kalorimeter ini perlu dicatat suhu awal sebelum peledakan dan suhu maksimum yang bisa di capai oleh peledakan bahan.



Gambar 3.6 Plain jacket bomb calorimeter

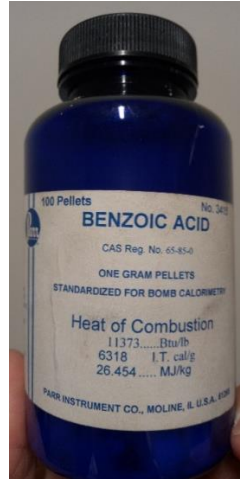
Dalam penggunaan bom kalorimeter ini perlu diperhatikan beberapa hal seperti *fuse wire*, tekanan oksigen, pengkalibrasian, dan volume air yang digunakan. *Fuse wire* yang digunakan pada bom kalorimeter ini memiliki tipe *Parr 45C10* seperti pada gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7 Parr fuse wire 45C10

Fuse wire yang digunakan untuk sekali percobaan sepanjang 10 cm. Kegunaan dari *fuse wire* ini sendiri adalah sebagai pemicu untuk meledakan bahan dalam tabung bom kalorimeter. Setelah memasang *fuse wire* pada *combustion vessel*, bahan diletakan pada *combustion vessel* dan ditutup rapat. *Combustion vessel* di isi dengan oksigen dengan tekanan 30 Psi. *Volume* air yang digunakan sebanyak 2 liter, sehingga panas yang dihasilkan pada *combustion vessel* digunakan untuk menaikkan suhu dari 2 liter air, sehingga pembacaan suhu air bisa didapatkan

pada *monitor* suhu. Sebelum melakukan percobaan, perlu dilakukan kalibrasi untuk perhitungan nilai kalor di akhir percobaan. Pengkalibrasian menggunakan asam *benzoat* untuk mengetahui faktor koreksi yang ada pada perhitungan. Gambar 3.8 menunjukkan asam *benzoat* yang digunakan.



Gambar 3.8 Asam benzoate

Prosedur yang digunakan dalam perhitungan nilai kalor dari alat *plain jacket bomb calorimeter* adalah sebagai berikut:

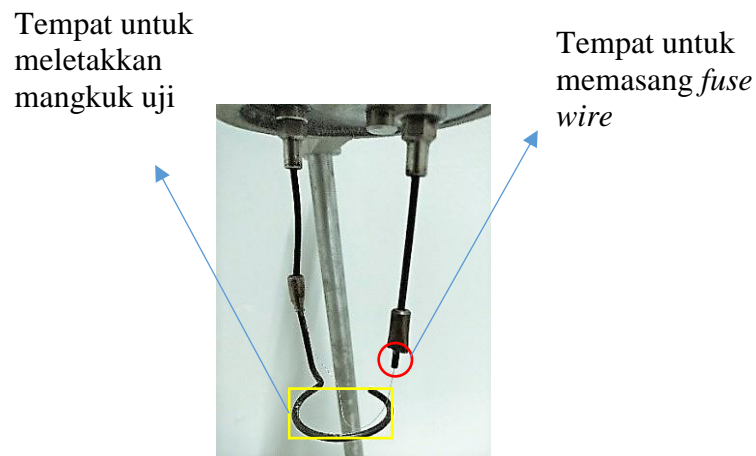
a. Prosedur percobaan

1. Menyiapkan sampel bahan bakar yang ingin diuji.
2. Meletakkan bahan bakar yang akan diuji kedalam mangkuk uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9.



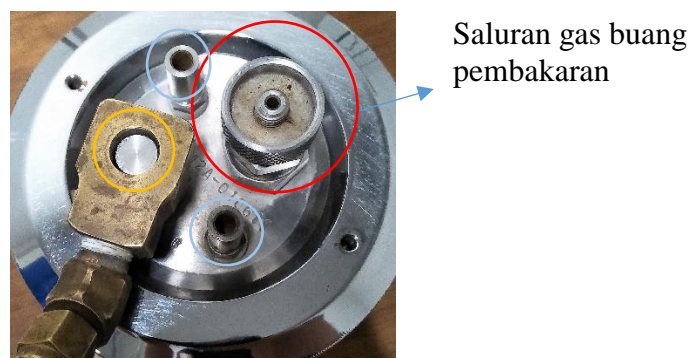
Gambar 3.9 Mangkuk uji bom kalorimeter

3. Mengukur berat bersih bahan bakar yang diuji dengan menggunakan timbangan digital seperti pada gambar 3.5.
4. Memotong *fuse wire* Parr 45C10 pada gambar 3.7 sepanjang 10 cm.
5. Memasang *fuse wire* yang telah dipotong kedalam *oxygen combustion vessel head* dan meletakkan mangkuk uji yang telah diisi bahan bakar kedalam *oxygen combustion vessel head* seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Oxygen combustion vessel head

6. Memasukan *head* kedalam *combustion vessel* dan memastikan *combustion head* terpasang dengan erat.
7. Mengeraskan ulir pada saluran pembuangan gas hasil pembakaran seperti gambar 3.11.



Gambar 3.11 Tampak atas oxygen combustion vessel head

8. Menyiapkan dan mengisi *water jacket* dengan air suling atau *mineral water* dengan kandungan padatan terlarut kurang dari 250 ppm sebanyak 2000 ± 0.5 gram.
9. Mengisi *oxygen combustion vessel* yang sudah dirakit dengan oksigen hingga 30 bar melalui lubang warna kuning pada gambar 3.11.
10. Memasang 2 ignition cable pada gambar 3.12 dengan *head oxygen combustion vessel* (gambar 3.11 warna biru).



Gambar 3.12 Ignition cable

11. Memasang *oxygen combustion vessel* yang telah dirakit ke dalam *bucket* yang telah terisi air dan memastikan tidak bertabrakan dengan pengaduk (Gambar 3.13 warna biru tua) serta kokoh tepat pada bulatan di dalam bucket.



Gambar 3.13 Thermostat, pengaduk dan ignition button

12. Memasang karet motor pemutar *stirrer* dengan *pulley stirrer*. Kemudian menyalakan motor pemutar *stirrer* selama 10 menit sehingga temperature air menjadi merata. Mencatat nilai awal temperatur air sebagai *variable*.
13. Tekan tombol warna perak pada *ignitor* untuk meledakkan *lead wire* didalam *vessel*. Apabila lampu merah menyala menandakan *lead wire* telah terbakar, apabila tidak menyala menandakan sebaliknya.
14. Mengamati perubahan *temperature* yang terjadi.
15. Mencatat temperatur air *maximum* yang meningkat.
16. Membersihkan semua alat yang telah dipakai dan menyimpan *lead wire* yang tersisa dalam *vessel*.
17. Menghitung panjang sisa *lead wire*.

b. Proses kalibrasi

Cara pertama menguji dengan menggunakan benda yang sudah diketahui dengan pasti nilai kalornya. Untuk kalorimeter ini, kalibrasi dilakukan menggunakan 1gram asam *benzoat* yang tersedia. Proses kalibrasi ini diperhitungkan dengan menggunakan rumus 3.1 (Company, 2008).

$$\text{Rumus Kalibrasi} \quad (3.1)$$

$$W = \frac{H_g \cdot m + e_3}{\Delta t}$$

Dimana:

W = *Energy equivalent* dari kalorimeter (cal/°C)

m = massa asam benzoat dalam 1 tablet (gram)

Δt = selisih temperatur air sesudah dan sebelum *ignition*

e_3 = faktor koreksi untuk *heat formation* pada *fuse wire*

= (panjang sisa *fuse wire* (cm) dikalikan dengan 2.3)

$$H_g (\text{Benzoic Acid}) = 6318 \frac{\text{cal}}{\text{gram}}$$

Setelah melakukan percobaan dengan *Benzoic Acid* maka digunakan rumus 2.1 untuk menentukan *error* dengan membandingkan nilai W percobaan

dengan *theoretical*. Dari hasil percobaan telah diketahui W dari 1 gram asam benzoat adalah sebesar 1779,43 cal/°C.

c. Proses perhitungan percobaan

Setelah melakukan langkah kalibrasi dan mendapatkan nilai W dalam batas yang diijinkan, maka percobaan dapat dilakukan. Setelah mendapatkan hasil dari percobaan serta menyimpan *variable* yang ada maka, menggunakan rumus 2.2 untuk menentukan nilai kalor dari bahan bakar (Company, 2008).

Rumus Perhitungan (3.2)

$$H_g = \frac{\Delta t \cdot W - e_3}{m}$$

W = *Energy equivalent* dari hasil kalibrasi (Cal/°C)

m = massa bahan bakar (gram)

Δt = selisih temperatur sesudah firing dengan sebelum *ignition*

e_3 = faktor koreksi untuk *heat formation* pada *fuse wire*

= (panjang sisa lead wire (cm) dikalikan dengan 2.3)

Dengan menggunakan rumus – rumus diatas (rumus 3.1 dan 3.2) nilai *heating value* dari suatu bahan dapat dihitung. *Heatng value* yang didapat dengan menggunakan rumusan diatas adalah HHV (*High Heating Value / gross calorific value*). Dengan perhitungan di atas nilai HHV yang di dapat dapat dikonversikan menjadi LHV (*Low Heating Value / net calorific value*) dengan menggunakan persamaan 3.3 (Borman, 1998).

Rumus LHV (3.3)

$$LHV = HHV - 2,443 \times \left\{ \frac{8,936 \times H}{100 \times \left(1 - \frac{MC}{100}\right)} + \frac{MC}{100} \right\}$$

Dimana:

LHV = Nilai kalor bawah (MJ/Kg)

HHV = Nilai kalor atas (MJ/Kg)

H = Kadar hidrogen (%wt)

MC = *Moisture content* (%wt)

6. Cetakan briket

Cetakan briket digunakan sebagai alat bantu dalam proses pengepressan. Cetakan ini terbuat dari bahan besi karena cetakan akan mengalami beban yang besar dari mesin *press*, sehingga cetakan tidak pecah atau rusak selama proses pengepressan. Pada gambar 3.14 menunjukkan model cetakan yang digunakan. Cetakan briket menghasilkan briket dengan diameter 25 mm dengan ketinggian yang tergantung pada kekuatan tekan mesin *press*.



Gambar 3.14 Cetakan briket

7. Mesin *press*

Mesin *press* yang digunakan adalah mesin produksi dengan penekan hidrolis yang digunakan untuk menekan cetakan briket dan memberi tekanan kepada cetakan agar briket dapat terbentuk sesuai dengan bentuk cetakan. Gambar 3.15 menunjukkan mesin *press* yang digunakan.



Gambar 3.15 Mesin *press* dengan aktuator hidrolis

8. *Thermogun*

Alat pengukur suhu yang digunakan antara lain *thermogun* inframerah dengan pembacaan temperatur hingga 1000°C. Penggunaan *thermogun* ini untuk mengukur suhu nyala api briket ketika dalam proses pembakaran. Pengukuran suhu pembakaran bahan bakar limbah daun angkana berperekat limbah buah pepaya dan buah nanas dilakukan agar dapat diketahui karakteristiknya. Penggunaan *thermometer* digunakan untuk mengukur suhu udara sekitar baik *dry bulb temperature* maupun *wet bulb temperature*. Pengukuran *dry bulb temperature* dan *wet bulb temperature* digunakan sebagai acuan kelembaban relatif (RH) selama proses pembakaran berlangsung. Gambar 3.16 menunjukkan *thermogun* UNI-T UT303C yang digunakan selama percobaan.



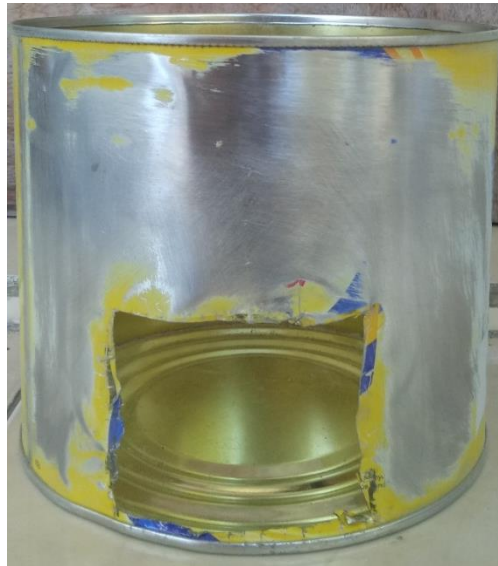
Gambar 3.16 Alat ukur suhu thermogun

Tabel 3.1 Spesifikasi UNI-T UT303C

Rentang suhu	-32°C sampai 1050°C
Keakuratan	+/- 1,8°C
Pengulangan	+/- 0,5 °C
Waktu respon	250 mS
Respon spectral	8 um sampai 14 um

9. Tungku pembakaran

Pembakaran briket dilakukan pada sebuah tungku yang terbuat dari seng. Tujuan penggunaan tungku pembakaran ini adalah untuk memfokuskan pembakaran dengan memberi udara konstan dari arah depan tungku dan memberikan jalan gas hasil pembakaran ke arah atas tungku. Gambar 3.17 menunjukkan tungku pembakaran yang digunakan.



Gambar 3.17 Tungku bakar briket

Proses pembakaran yang dilakukan pada tungku pembakaran menggunakan korek api sebagai pemicu pembakaran. Setelah api sudah menyala pada briket, kipas angin digunakan sebagai penyuplai udara dari bagian depan tungku agar briket dapat menyala dengan konstan. Hembusan yang diberikan diharapkan memberi *supply* oksigen selama proses pembakaran. Pembakaran yang berlangsung menghasilkan gas hasil pembakaran dapat keluar ke bagian atas tungku pembakaran. Sedangkan abu hasil pembakaran tertinggal pada bagian dasar tungku pembakaran.

3.4.2 Persiapan material

Selain alat yang digunakan untuk pengujian, Material pengujian juga perlu dikumpulkan sebagai material uji. Beberapa kegiatan dan metode persiapan material akan dijelaskan pada sub bab berikut.

3.4.2.1 Pengumpulan dan pengeringan daun

Pengumpulan bahan daun pohon angkana dilakukan terhadap daun yang telah jatuh ke tanah atau hasil pemotongan yang dilakukan oleh dinas pertamanan kota. Pengeringan bisa di percepat dengan melepas daun dari ranting. Pengeringan dilakukan selama 7 hari penuh dengan matahari yang cerah. Bahan yang diambil berasal dari kota Surabaya.



Gambar 3.18 Limbah daun angkana di pinggir jalan (kiri) dan limbah daun yang telah kering (kanan)

3.4.2.2 Proses penggilingan daun

Limbah daun yang telah kering dihancurkan dengan blender agar menjadi bentuk bubuk. Bentuk bubuk diperlukan dalam proses pembuatan briket agar perekat dapat campur secara merata. Gambar 3.2 menunjukkan blender yang digunakan dan gambar 3.18 hasil penggilingan.



Gambar 3.19 Limbah daun angkana yang akan dihaluskan

3.4.2.3 Proses pengayakan

Proses pengayakan diperlukan dalam percobaan dikarenakan oleh diperlukan suatu standar kehalusan pembubukan bahan, dalam percobaan ini menggunakan ukuran pengayakan sebesar 20 *mesh*, 40 *mesh* dan 60 *mesh*. Variasi ukuran *mesh* digunakan untuk menentukan ukuran partikel briket yang terbaik dari segi kekuatan fisik maupun dari segi pembakaran. Pada gambar 3.21 menunjukkan perbedaan ukuran partikel dari ukuran 20 *mesh* hingga 60 *mesh*.



Gambar 3.20 Perbandingan ukuran mesh dalam proses pengayakan

3.4.2.3 Proses penggilingan limbah buah

Buah pepaya dan nanas yang telah dikumpulkan kemudian diolah dengan penghancur tanpa penambahan air. Penghancuran dilakukan dengan blender selama 2 menit sampai limbah buah menjadi Pada buah pepaya semua bagian buah dipakai, namun pada buah nanas kulit dan daun pelindung buah dibuang. Hal tersebut dilakukan karena daun pelindung cukup keras.



Gambar 3.21 Bahan mentah limbah buah pepaya (kiri) dan limbah buah nanas (kanan)



Gambar 3.22 Hasil penggilingan limbah buah Pepaya (kiri) dan nanas (kanan)

3.5 Persiapan pembentukan briket

Pembentukan briket dimulai dengan perhitungan kadar air campuran. Perhitungan kadar air dilakukan dengan menghitung kadar air dengan persentase yang diinginkan. Berdasarkan Analisa fisik dari penelitian yang dilakukan oleh Anggono (2017), briket dengan ukuran partikel mesh 20 dengan tekanan 1 MPa memiliki bentuk fisik yang mudah hancur. Pada campuran tersebut dilakukan percobaan kadar air campuran sebesar 25%, 50%, dan 75%. Dibawah in merupakan contoh perhitungan kadar air campuran.

Diketahui:

Persentase massa komposisi bubuk daun: perekat	= 95:5
Massa total	= 100 gr
Massa bubuk daun	= 95 gr
Kadar air bubuk daun	= 10 % <i>wt</i>
Massa perekat	= 5 gr
Kadar air perekat	= 90% <i>wt</i>

Dicari:

Jumlah penambahan air yang dibutuhkan agar kadar air campuran mencapai 50%

Perhitungan:

Massa air didapat dari pengalihan massa total dengan kadar air	
Massa air bubuk daun	= 9,5 gr
Massa air perekat	= 4,5 gr

Kadar air campuran didapatkan dari pembagian total massa air kedua bahan dibandingkan massa total.

Rumus kadar air campuran

$$\text{Kadar air campuran} = \frac{\text{Massa air bubuk daun} + \text{Massa air perekat}}{\text{Massa total}} \quad (3.4)$$

$$\text{Kadar air campuran} = \frac{9,5 + 4,5}{100}$$

$$\text{Kadar air campuran} = 14\%$$

Jumlah penambahan air yang diperlukan dihitung dengan rumus dibawah ini. Y digunakan sebagai pengganti kadar air campuran dan X sebagai jumlah air yang dibutuhkan. M_{tot} mewakili massa total dan M_{air} mewakili massa air campuran yang sudah ada.

$$Y = \frac{M_{air} + X}{M_{tot} + X}$$

Rumus diatas dirubah menjadi rumus yang dapat menghitung massa air yang dibutuhkan.

Rumus campuran air

$$X = \frac{M_{tot} - M_{air}}{1 - Y} \quad (3.5)$$

$$X = \frac{100 - 14}{1 - 0,14}$$

$$X = 85,5 \text{ gr}$$

85,5 gr adalah massa air yang perlu ditambahkan agar kadar air campuran dapat mencapai 50%.

3.6 Proses Press

Limbah daun angšana yang telah dicampur dengan bahan perekat berupa limbah buah pepaya dan buah nanas dengan rasio tertentu. Kemudian dicampurkan dengan air panas untuk mengaktifkan bahan perekat yang dilanjutkan dengan proses *press* dengan mesin *press*. Adonan limbah daun angšana dengan bahan perekat dimasukan kedalam cetakan briket lalu diberi gaya tekan dengan menggunakan mesin *press*. Gambar 3.23 menunjukkan proses *press* menggunakan mesin *press* dengan aktuator hidrolis.



Gambar 3.23 Proses press

Briket yang dicetak dengan mesin *press* ini menggunakan tekanan sebesar 1 MPa hingga 2 MPa. Tekanan mesin *press* ditentukan dengan cara menekan tuas yang ada pada pompa hidrolis. Ketika tuas pompa hidrolis ditekan, maka tekanan pompa hidrolis akan meningkat hingga batas yang diinginkan.

3.7 Pengujian karakteristik pembakaran briket

Setelah menghasilkan briket dengan menggunakan mesin *press*, pengujian briket dilakukan dengan berbagai pengujian. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian komposisi, pengujian fisik dan pengujian pembakaran.

3.7.1 Uji komposisi

Pengujian komposisi yang terkandung dalam bahan limbah daun angkana berpeperkat limbah buah pepaya dan buah nanas seperti kandungan karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan total sulfur. Selain dalam lingkup uji ultimate juga dilakukan uji proksimat seperti *Moisture Content*, *Ash content*, *Volatile Matter* dan *Fixed Carbon*. Nilai kalor didapatkan dengan menggunakan bom kalorimeter. Pengujian dengan bom kalorimeter dilakukan sebanyak tiga kali yang kemudian hasil pengujianya di rata – rata sebagai hasil akhir.

3.7.2 Uji cacat fisik

Setelah melakukan pengujian komposisi, pengujian cacat fisik ini dilakukan dengan cara melihat fisik dari briket. Bentuk fisik yang di harapkan adalah briket yang memiliki penampang yang halus tanpa retakan.

3.7.3 Uji pembakaran

Uji pembakaran ini dilakukan dengan tujuan menguji coba briket yang telah dibuat. Proses pembakaran ini dilakukan pada suatu tungku pembakaran, Gambar 3.23 menunjukkan proses pembakaran yang dilakukan. Parameter yang digunakan adalah kecepatan pembakaran dan suhu pembakaran.

a. Prosedur percobaan

1. Mempersiapkan briket yang akan dibakar dan tempat pembakaran.
2. Memosisikan briket pada tengah tempat pembakaran seperti pada gambar 3.23.



Gambar 3.24 Tempat pembakaran briket

3. Mempersiapkan *stopwatch* dan korek api yang digunakan untuk menyalakan briket.
4. Menyalakan briket dengan menggunakan korek api seperti ditunjukkan pada gambar 3.24.



Gambar 3.25 Penyalaan briket

5. Pengukuran waktu penyalaan dilakukan pada saat api mengenai briket hingga briket menyala dengan sendirinya.
6. Pada saat pembakaran berlangsung ukur temperatur bara api dengan menggunakan *thermogun*.
7. Hentikan *stopwatch* apabila briket telah terbakar habis.
8. Catat waktu penyalaan, durasi pembakaran dan temperatur bara api.