

**MODEL DIFUSI AIR DAN KINETIKA PERUBAHAN KEKERASAN DAN
DIMENSI SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)
PADA BEBERAPA SUHU PERENDAMAN**

(Skripsi)

Oleh
ANIS SAPITRI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

MODEL DIFUSI AIR DAN KINETIKA PERUBAHAN KEKERASAN DAN DIMENSI SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) PADA BEBERAPA SUHU PERENDAMAN

Oleh

ANIS SAPITRI

Sorgum merupakan jenis serealia yang perlu dikembangkan dan dikaji karena bisa dijadikan sebagai sumber pangan pokok pengganti beras. Dalam pengolahan serealia, proses perendaman merupakan salah satu proses terpenting. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari model difusi air dan kinetika perubahan kekerasan dan dimensi biji sorgum pada beberapa suhu dan jenis larutan perendaman. Penelitian ini menggunakan biji sorgum non-sosoh yang direndam pada larutan aquades dan alkali selama 10 jam pada suhu 30, 45 dan 60 °C. Parameter yang diamati adalah perubahan kadar air, kekerasan dan dimensi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju penyerapan air berdasarkan persamaan peleg mengalami peningkatan dengan meningkatnya suhu perendaman. Suhu perendaman yang tinggi akan mempercepat proses difusi air pada biji sorgum. Nilai koefisien difusi air yang diperoleh pada jenis larutan perendaman aquades dan alkali yaitu berkisar $3,334 - 3,653 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{detik}$ dan

$3,435 - 3,595 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{detik}$ dengan nilai energi aktivasi yang diperoleh sebesar $2,582 \text{ kJ/mol}$ dan $1,275 \text{ kJ/mol}$. Perubahan kekerasan dan dimensi biji sorgum yang terbesar terjadi pada perendaman larutan alkali yaitu sebesar $43,29 \text{ N}$ dan $0,0161 \text{ cm}^3$.

Nilai konstanta laju perubahan kekerasan (k_k) mengalami penurunan dengan meningkatnya suhu perendaman. Model terbaik dalam menghitung nilai konstanta laju reaksi dan energi aktivasi pada parameter perubahan kekerasan sorgum selama perendaman menggunakan persamaan kinetika Orde 2. Nilai konstanta laju perubahan dimensi (k_V) berbanding lurus dengan meningkatnya suhu perendaman. Persamaan Kinetika Orde 1 memiliki model yang baik dalam perhitungan nilai konstanta laju reaksi dan energi aktivasi pada parameter perubahan dimensi sorgum selama perendaman.

Kata kunci : Energi aktivasi, model kinetika sorgum, suhu perendaman.

ABSTRACT

MODEL OF WATER DIFFUSION AND KINETICS OF CHANGES ON HARDNESS AND DIMENSION OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* [L.] *Moench*) AT SOME SOAKING TEMPERATURES

By

ANIS SAPITRI

Sorghum is a type of cereal that needs to be developed and examined because it can be used as a staple food for rice substitute. In cereal processing, the submersion process is one of the most important process. This research aims to analyze water diffusion models and hardness changes kinetics and sorghum seeds dimension at some temperatures and submersion solution type. This study uses non-sosoh sorghum seeds soaked in aquades and alkali solutions for 10 hours at 30, 45 and 60 °C. The observed parameters are water amount changes, hardness and dimensions.

The results of this study showed that the rate of water absorption based on the Peleg equation, the submersion temperature was increased. High submersion temperature will accelerate water diffusion process in sorghum seeds. The value of water diffusion in the aqueous coefficient of aquades and alkali solution ranges from $3,334 - 3,653 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{sec}$ and $3,435 - 3,595 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{sec}$ with the value

of activation energy obtained by 2.582 kJ/mol and 1.275 kJ/mol. The biggest hardness and dimensions of sorghum seeds occur in alkaline solution submersion, it was 43,29 N and 0.0161 cm³.

Change rate constant value hardness (k_k) has decreased with increasing submersion temperature. The best model in calculating the value of the reaction rate constant and activation energy on the parameters of the change in sorghum hardness during submersion uses the orde 2 kinetics equation. Change rate constant value dimension (k_V) was directly proportional to the increasing submersion temperature. Kinetics Equation orde 1 has a good model in calculating the value of the reaction rate constant and activation energy on the parameters of sorghum dimension changes during submersion.

Keyword : Activation energy, kinetics model, sorghum, soaking temperature.

**MODEL DIFUSI AIR DAN KINETIKA PERUBAHAN KEKERASAN DAN
DIMENSI SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)
PADA BEBERAPA SUHU PERENDAMAN**

Oleh

ANIS SAPITRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi

: MODEL DIFUSI AIR DAN KINETIKA
PERUBAHAN KEKERASAN DAN DIMENSI
SORGUM (*Sorghum bicolor [L.] Moench*) PADA
BEBERAPA SUHU PERENDAMAN

Nama Mahasiswa : Anis Sapitri

No. Pokok Mahasiswa : 1514071024

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si.
NIP 19820924 200604 2 001

Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S.
NIP 19591031 198703 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua : **Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si.**

Sekretaris : **Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S.**

Pengaji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Tamrin, M.S.**



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 November 2019**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya bernama Anis Sapitri NPM 1514071024.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing,

1) **Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si.** dan 2) **Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 5 Desember 2019
Yang membuat pernyataan



Anis Sapitri
NPM. 1514071072

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pajar Bulan, Lampung Barat pada tanggal 11 November 1997, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Ma'mun dan Ibu Asni. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN 02 Fajar Bulan tahun 2003 sampai dengan tahun 2009.

Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Way Tenong pada tahun 2009 – 2012 dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Way Tenong pada tahun 2012 – 2015.

Pada tahun 2015, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Fisika Dasar dan Teknik Penanganan Pasca Panen. Penulis pernah menjadi anggota biasa di Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) FP Unila.

Pada bulan Januari – Februari 2019 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Suka Maju, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara dengan tema **“Membangun dan Meningkatkan Kemandirian Desa”**. Pada bulan Juli – Agustus tahun 2018 penulis melaksanakan Praktik Umum di PT.

Hidroponik Agrofarm Bandungan, Semarang, Jawa Tengah dengan judul
“Mempelajari Teknik Budidaya Sistem Hidroponik Rakit Apung (*Floating Raft*) dan Pasca Panen Pada Tanaman Pakcoy di PT Hidroponik Agrofarm Bandungan, Semarang, Jawa Tengah”.

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kemudahan serta keberkahan dalam setiap langkah dan perjuangan

Kupersembahkan karya ini kepada : Kedua orangtuaku Bapak (Ma'mun) dan Ibu (Asni) yang selalu memberiku semangat, doa, nasihat, dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan untuk menjalani rintangan yang ada didepanku.

Kakakku (Andi Yansah) dan adikku (M. Ilyas Arpani) yang telah memberikan doa dan semangat untukku.

Serta

Almamater Tercinta

Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Terima Kasih Atas Kenangan Indah Yang Tak Terlupakan

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Alah SWT atas Rahmat dan Lindungan-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**Model Difusi Air dan Kinetika Perubahan Kekerasan dan Dimensi Sorgum (*Sorghum bicolor [L.] Moench*) Pada Beberapa Suhu Perendaman**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya kuliah dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian.
3. Ibu Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing pertama atas segala pengarahan, nasihat, saran, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S., selaku Pembimbing kedua yang telah membimbing, memotivasi, saran dan meluangkan waktu dalam proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku Pembahas yang telah memberikan masukan dan saran-sarannya.

6. Seluruh dosen di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama penulis berada dibangku kuliah.
7. Terkhusus orang tuaku yang sangat kusayangi, bapak Ma'mun dan ibu Asni, yang tak pernah lelah memberikan semangat serta dukungan yang luar biasa dan senantiasa mendoakan setiap langkahku.
8. Kakaku Andi Yansah dan Adikku M. Ilyas Arpani serta seluruh keluarga besar atas do'a, dukungan, motivasi, dan kasih sayang tulus yang telah diberikan.
9. Rekan terbaikku Roma Suryadi, terimakasih untuk do'a, motivasi, dukungan dan kebersamaannya dalam suka maupun duka.
10. Teman tidur yang kusayangi, Cahyani Cahyanti Putri Terimakasih karena telah memberikan semangat, motivasi dan sudah menjadi bagian dari cerita penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Team PU Barokah Semarang Squad yang kubanggakan, Nesisu, Marisa, putri, Disca, dan Dea. Terimakasih telah menemani penulis selama menjalankan PU di PT. Hidroponik Agrofarm Bandungan, Semarang, Jawa Tengah.
12. Team penelitian serealia, Nurul Oktaviani Eka Putri dan Yulinda Fertasari yang menemani penulis berjuang dalam penelitian hingga saat ini. Semoga Allah memudahkan segala urusan kita, dan tercapai cita-cita serta harapan kita

13. Sahabat kuliahku, Nur Oktavia dan Eko Regita terimakasih atas kebersamaannya yang telah memberikan motivasi, semangat dan tenaganya selama penulis berada di bangku kuliah dan dalam penyusunan skripsi.
14. Sahabat SMA ku, devi, tiya, dea, silvia dan agrestina. Terimakasih untuk kebersamaannya sampai saat ini dalam suka maupun duka dan tidak pernah lelah memberikan semangat dan motivasi.
15. Teman-teman seperjuangan angkatan 2015, yang telah menjadi bagian keluarga dalam kehidupan kampus. Terimakasih atas kebersamaan selama ± 4 tahun ini, atas bantuan dan saran untuk penulis, semoga kalian semua dimudahkan dalam segala urusan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, Desember 2019
Penulis

Anis Sapitri

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Sorgum.....	6
2.2. Manfaat Sorgum	8
2.3. Varietas Sorgum	10
2.4. Perendaman Sorgum.....	13
2.5. Kadar Air	14
2.6. Difusi Air.....	15
2.7. Kinetika Perubahan.....	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat.....	20
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Tahapan Penelitian	20
3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan.....	22
3.3.2. Pelaksanaan Penelitian	22
3.4. Parameter Pengamatan	23
3.4.1. Kadar Air	23
3.4.2. Dimensi Sorgum	24
3.4.3. Kekerasan	25

3.5. Analisis Data.....	26
3.5.1. Koefisien Difusi Air	26
3.5.1.1. Persamaan Peleg	26
3.5.1.2. Koefisien Laju Pembasahan (k_D)	28
3.5.1.3. Menghitung nilai koefisien difusi dengan persamaan Crank (1975).....	29
3.5.2. Energi Aktivasi Proses Difusi.....	30
3.5.3. Kinetika Perubahan.....	31
3.5.3.1. Reaksi Orde Satu	32
3.5.3.2. Reaksi Orde Dua.....	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1. Kadar Air	34
4.1.1. Model Difusi.....	36
4.1.1.1. Kadar Air Kesetimbangan	39
4.1.1.2. Koefisien Pembasahan (k_D)	40
4.1.1.3. Energi Aktivasi	43
4.2. Kekerasan	45
4.2.1. Kinetika Perubahan Kekerasan (k_k).....	47
4.2.2. Energi Aktivasi	49
4.3. Dimensi.....	51
4.3.1. Kinetika Perubahan Dimensi (k_V).....	53
4.3.2. Energi Aktivasi	55
V. KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	65
Tabel (11-14).....	82
Gambar (15-42)	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan Nutrisi dalam 100 g biji tanaman pangan	9
2. Komposisi nutrisi, tanin (%) beberapa galur/varietas sorgum	9
3. Penelitian difusi air pada beberapa bahan pertanian	17
4. Nilai k_1 , k_2 dan Me dalam persamaan Peleg	37
5. Nilai koefisien pembasahan (k_D) dan koefisien difusi (D_{eff}).....	41
6. Nilai energi aktivasi (Ea) pada perlakuan larutan perendaman aquades dan alkali.....	44
7. Nilai konstanta laju reaksi (k_k) dan evaluasi model koefisien determinasi (R^2) pada perubahan kekerasan biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika Orde 2	47
8. Nilai energi aktivasi (Ea) pada perlakuan larutan perendaman aquades dan alkali	50
9. Nilai konstanta laju rekasi (k_V) dan koefisien diterminasi (R^2) Pada dan alkali.....	53
10. Nilai energi aktivasi (Ea) pada perlakuan larutan perendaman aquades dan alkali	56

Lampiran

11. Perhitungan laju penyerapan air biji sorgum berdasarkan persamaan model Peleg pada perendaman (a) aquades (b) alkali	82
12. Perhitungan nilai MR biji sorgum pada beberapa suhu perendaman (a) aquades (b) alkali	83
13. Nilai Kinetika Perubahan Kekerasan Menggunakan Persamaan Orde 2 aquades (b) alkali	84
14. Nilai kinetika perubahan dimensi menggunakan Persamaan Orde 1 aquades (b) alkali.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sorgum.....	7
2. Diagram Alir Penelitian	21
3. Pelaksanaan Penelitian.....	22
4. Prinsip pengukuran dimensi sorgum.....	24
5. Perubahan kadar air selama perendaman (a) aquades (b) alkali	35
6. Perubahan kadar air observasi dan prediksi biji sorgum pada Suhu perendaman 30°C (a) aquades (b) alkali.....	39
7. Perubahan kadar air observasi dan prediksi biji sorgum pada Suhu perendaman 30°C (a) aquades (b) alkali	43
8. Hubungan $\ln D_{eff}$ dengan $1/T$ aquades dan alkali	44
9. Perubahan kekerasan selama perendaman (a) aquades (b) alkali	46
10. Perubahan kekerasan observasi dan prediksi biji sorgum pada Suhu perendaman 30°C (a) aquades (b) alkali	49
11. Hubungan $\ln k_k$ dengan $1/T$ aquades dan alkali	50
12. Perubahan dimensi volume selama perendaman (a) aquades (b)alkali	52
13. Perubahan dimensi observasi dan prediksi biji sorgum pada Suhu perendaman 30°C (a) aquades (b) alkali	55
14. Hubungan $\ln k_V$ dengan $1/T$ (a) aquades (b) alkali	56
Lampiran	
15. Model laju penyerapan air berdasarkan persamaan Peleg (a) aquades (b) alkali.....	66

16. Grafik persamaan eksponensial setiap perlakuan suhu (a) aquades (b) alkali	67
17. Perubahan kadar air observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman aquades dalam persamaan Peleg	68
18. Perubahan kadar air observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman alkali dalam persamaan Peleg	69
19. Perubahan kadar air observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman aquades dalam Koefisien Laju Pembasahan	70
20. Perubahan kadar air observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman alkali dalam Koefisien Laju Pembasahan	71
21. Perubahan Kekerasan menggunakan kinetika Orde Dua (a) aquades (b) alkali	72
22. Perubahan kekerasan observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman aquades.....	73
23. Perubahan kekerasan observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman alkali.....	74
24. Grafik Perubahan Dimensi menggunakan kinetika Orde Satu (a) aquades (b) alkali.....	75
25. Perubahan dimensi observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman aquades.....	76
26. Perubahan dimensi observasi dan prediksi biji sorgum pada perendaman alkali.....	77
27. Validasi persamaan kinetika perubahan kekerasan menggunakan orde dua pada perlakuan aquades.....	78
28. Validasi persamaan kinetika perubahan kekerasan menggunakan orde dua pada perlakuan alkali.....	79
29. Validasi persamaan kinetika perubahan kekerasan menggunakan orde satu pada perlakuan aquades	80
30. Validasi persamaan kinetika perubahan dimensi menggunakan orde satu pada perlakuan alkali	81
31. Sorgum sebagai bahan penelitian.....	94
32. Proses Perendaman Sorgum.....	94

33. Proses Penirisan sorgum	95
34. Proses Pengeringan Sorgum	95
35. Oven yang Digunakan dalam penelitian	96
36. Proses Pendinginan Sorgum	96
37. Proses Penimbangan Sorgum.....	97
38. Larutan Alkali	97
39. Larutan Aquades Pada Proses Perendaman	98
40. Larutan Alkali Pada Proses Perendaman	98
41. Foto pengukuran Dimensi (a) Panjang dan Lebar, (b) Tebal.....	99
42. Contoh pengukuran dimensi menggunakan <i>Software ImageJ</i>	100

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil berbagai serealia yang memiliki nutrisi penting bagi tubuh dan bermanfaat bagi kesehatan. Beragam jenis serealia memiliki potensi tumbuh di Indonesia. Namun, beragam serealia tersebut belum dimanfaatkan secara optimal di Indonesia. Konsumsi serealia di Indonesia masih sangat tergantung pada komoditi beras. Padahal masih banyak jenis serealia lain yang memiliki potensi untuk bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku pangan berkualitas.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2018 , konsumsi beras nasional mencapai 29,57 juta ton per tahun. Salah satu masalah dalam pencapaian ketahanan pangan adalah ketergantungan terhadap bahan pangan impor, terutama beras dan gandum. Terjadinya kegagalan panen di berbagai daerah karena kemarau panjang telah menyebabkan kurangnya pasokan beras, sehingga mendorong harga beras semakin tinggi dan sulit untuk dijangkau oleh sebagian masyarakat Indonesia terutama yang berpenghasilan rendah dan kebutuhan beras akan semakin meningkat sesuai dengan pertambahan jumlah penduduk (Firdaus dkk., 2008).

Salah satu cara untuk mengatasi persoalan ini adalah dengan menggalakkan komoditas pangan alternatif yang murah, bermanfaat dan mudah untuk dikembangkan di Indonesia seperti sorgum. Sorgum adalah sereal yang terpenting kelima di dunia, setelah gandum, beras, jagung, dan jelai. Sorgum adalah biji-bijian sereal yang paling toleran terhadap kekeringan tanaman dan membutuhkan sedikit input selama pertumbuhan dan sebuah sumber daya yang kurang dimanfaatkan di sebagian besar negara maju, dengan sorgum terutama digunakan sebagai pakan ternak. Di negara berkembang pemrosesan komersial biji-bijian yang ditanam secara lokal ini menjadi produk bernilai tambah sebagai pendorong penting bagi pembangunan ekonomi (Taylor dkk., 2006).

Proses pengolahan sorgum menjadi olahan pangan dapat dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan yang dilakukan untuk mengolah sorgum menjadi bahan pangan salah satunya adalah tahapan perendaman. Setelah melalui proses penyortiran, sorgum biasanya direndam dalam air selama waktu tertentu sebelum proses pengolahan selanjutnya. Perendaman sorgum biasanya dilakukan pada proses pembuatan gula, asam amino, sereal, dan tepung sorum dengan kondisi waktu dan suhu perendaman yang berbeda-beda sesuai olahan pangan yang akan dibuat.

Perendaman meningkatkan keseragaman masuknya air perendaman ke dalam butir sorgum. Jumlah air perendaman yang masuk ke dalam butir sorgum tergantung pada lamanya waktu perendaman dan suhu air perendaman. Perembesan air ini memperkecil kecenderungan butir sorgum terpisah atau pecah akibat tekanan osmotik pada butir sorgum selama pemasakan, dimana pati mulai

terlepas ke dalam air pemasakan Smith dkk. (1985). Menurut Agarry dkk. (2014), jumlah air yang diserap oleh bahan selama perendaman dipengaruhi oleh suhu air perendaman, waktu lama perendaman, kadar air awal, jenis bahan, tingkat keasaman air dan fisikokimia sifat dari bahan.

Perendaman dapat dilakukan dengan larutan alkali atau air destilasi (aquades), seperti dilakukan oleh Hubeis (1984), yang melakukan perendaman sorgum dalam larutan Na_2HPO_4 0.2 persen selama 18 jam. Pemberian garam natrium fosfat mengakibatkan struktur fisik sorgum pasca tanak lebih porous, sehingga proses penyerapan air akan lebih cepat pada waktu perendaman maupun pada waktu rehidrasi. Waktu yang semakin lama dalam proses perendaman akan menghambat proses pengolahan selanjutnya. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian mengenai model difusi air, kinetika perubahan kekerasan dan dimensi sorgum selama proses perendaman dengan variasi suhu yang berbeda.

Difusi air dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan. Salah satu persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung dan menduga nilai difusi bahan pertanian diantaranya persamaan Peleg (1988) dan Crank (1975). Kedua persamaan tersebut sudah digunakan untuk menghitung difusi air beberapa bahan pertanian dan menunjukkan hasil yang baik untuk menduga nilai difusi air bahan. Beberapa penelitian yang menggunakan kedua persamaan tersebut untuk menghitung dan menduga nilai difusi air bahan adalah pada perendaman beberapa varietas beras Foke (2013) dan pasta (Cunningham dkk., 2007).

1.2. Rumusan Masalah

Proses perendaman pada umumnya merupakan proses yang harus dilalui dalam mengolah bahan pangan seperti pembuatan gula, asam amino, sereal, dan tepung sorgum. Selama proses perendaman dalam larutan aquades dan alkali, sorgum akan mengalami perubahan karakteristik fisik karena adanya proses difusi. Secara umum, proses perendaman yang dilakukan masyarakat masih menggunakan perendaman pada suhu ruang. Penggunaan suhu ruang dalam proses perendaman mengakibatkan waktu yang kurang efektif.

Sorgum merupakan jenis serealia yang perlu dikembangkan dan dikaji karena dalam pengolahan serealia, proses perendaman merupakan salah satu proses terpenting, sehingga informasi mengenai respon sorgum selama perendaman menjadi lebih banyak dan bervariatif. Selain itu, pemberian suhu perendaman yang berbeda diperlukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sorgum selama perendaman.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menghitung koefisien difusi air dan energi aktivasi biji sorgum pada beberapa suhu dan jenis larutan perendaman.
2. Menentukan model kinetika perubahan kekerasan dan dimensi biji sorgum pada beberapa suhu dan jenis larutan perendaman
3. Menghitung koefisien perubahan kekerasan dan dimensi serta energi aktivasi perubahan fisik sorgum pada beberapa suhu dan jenis larutan perendaman.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi ilmiah mengenai karakteristik fisik sorgum yang mengalami proses perendaman dalam waktu dan suhu tertentu serta koefisien difusi air sorgum pada beberapa suhu perendaman. Sehingga dapat menjadi acuan dalam pemanfaatan sorgum menjadi olahan pangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor*) merupakan tanaman asli Afrika Timur di wilayah Abessinia, Ethiopia, dan sekitarnya, yang kini menjadi tanaman kosmopolitan menyebar ke seluruh dunia. Data FAO tahun 2013 menunjukkan terdapat 110 negara di dunia yang menanam sorgum. Indonesia yang sudah menanam sorgum sejak awal abad ke-4 justru tidak tercantum pada daftar negara produsen sorgum FAO, kemungkinan karena luas areal panennya sangat kecil (FAO, 2013).

Sorgum merupakan tanaman yang termasuk family Gramineae, seperti padi, jagung, gandum, dan tanaman lain seperti bambu dan tebu. Budidaya sorgum sudah dilakukan di beberapa daerah di Indonesia, terutama di Jawa, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Nusa Tenggara Timur (NTT). Salah satu sifat khas dari sorgum adalah toleran terhadap kekeringan dan genangan (Anas, 2007). Sorgum mempunyai potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia karena mempunyai daerah adaptasi yang luas. Potensi dan keunggulan yang dimiliki sorgum antara lain dapat ditanam pada lahan suboptimal (lahan kering, rawa, dan lahan masam yang tersedia cukup luas di Indonesia, sekitar 38,7 juta hektar) dengan produktivitas yang cukup tinggi, dan kandungan protein lebih tinggi dari beras (Warta IPTEK, 2012).

Sorgum merupakan jenis serealia yang di Indonesia belum banyak dimanfaatkan kegunaannya. Tanaman sorgum masih demikian kurang perkembangannya, padahal hasilnya dapat digunakan sebagai bahan pangan pengganti beras atau untuk diekspor. Sorgum memiliki potensi yang cukup besar untuk dapat dikembangkan di Indonesia. Tanaman ini toleran terhadap kekeringan dan genangan, memiliki adaptasi yang luas, dan dapat tumbuh baik di lahan yang kurang subur (Syam dkk., 1996).

Menurut United States Departement of Agriculture (2013), klasifikasi sorgum dalam ilmu taksonomi tumbuhan adalah:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Sub Divisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledonae</i>
Ordo	: <i>Poales</i>
Famili	: <i>Poaceae</i>
Genus	: <i>Sorghum</i>
Spesies	: <i>Sorghum bicolor</i> [L.] Moench.



Gambar 1. Sorgum

Biji sorgum berbentuk bulat, dengan ukuran 4-8 mm. Biji sorgum terdiri dari 7.3–9.3% kulit luar, 7.8–12.1% lembaga, dan 80–84.6% endosperm. Kulit luar terdiri dari *epikarp*, *mesokarp*, dan *endocarp*. *Epikarp* adalah bagian terluar yang tersusun atas dua atau tiga lapisan memanjang, ada yang mengandung pigmen Hubbard dkk. (1950). Rooney dan Miller (1982) menyatakan bahwa *mesokarp* merupakan lapisan tengah dan cukup tebal, berbentuk poligonal serta mengandung sedikit granula pati. *Endocarp* tersusun oleh sel menyilang dan sel berbentuk tabung, akan rusak selama proses penggilingan yang menghilangkan kulit luar. Di bawah lapisan *perikarp* terdapat lapisan kulit biji (testa). Lapisan testa terdapat di bawah *endocarp* dan di sekeliling permukaan endosperm biji.

Tanaman sorgum mempunyai batang yang merupakan rangkaian berseri dari ruas (internodes) dan buku (nodes). Bentuk batangnya silinder dengan ukuran diameter batang pada bagian pangkal antara 0,5 – 5,0 cm. Tinggi batang tanaman sorgum bervariasi yaitu antara 0,5–4,0 m tergantung pada varietas (House, 1985). Tinggi batang sorgum manis yang dikembangkan di China dapat mencapai 5 m, dan struktur tanaman yang tinggi sangat ideal dikembangkan untuk pakan ternak dan penghasil gula (FAO, 2005). Pada beberapa varietas sorgum batangnya dapat menghasilkan tunas baru membentuk percabangan atau anakan dan dapat tumbuh menjadi individu baru selain batang utama (House, 1985).

2.2. Manfaat Sorgum

Biji sorgum dapat digunakan sebagai bahan baku industri pakan dan pangan seperti industri gula, monosodium glutamate (MSG) dan asam amino, (Sirappa, 2003). Tepung sorgum dapat sebagai pendamping tepung beras dan terigu, diolah

menjadi aneka pangan tradisional. Sorgum dapat dikonsumsi sebagai mana layaknya nasi dan aneka produk bentuk butiran (brondong /*pop sorgum*, renginang). Selain itu, tepung sorgum, diolah menjadi aneka pangan tradisional, aneka cake dan cookies. Saat ini sudah dikembangkan produk sorgum instan seperti nasi sorgum instan, bubur danereal sarapan. Berikut kandungan nutrisi dalam 100 g biji tanaman pangan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Komposisi nutrisi, tanin (%) beberapa galur/varietas sorgum dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kandungan Nutrisi dalam 100 g biji tanaman pangan

Unsur Nutrisi	Kandungan/100 g				
	Beras	Jagung	Singkong	Sorgum	Kedelai
Kalori (cal)	360	361	146	332	286
Protein (g)	6,8	8,7	1,2	11,0	30,2
Lemak (g)	0,7	4,5	0,3	3,3	15,6
Karbohidrat (mg)	78,9	72,4	34,7	73,0	30,1
Kalsium (mg)	6,0	9,0	33,0	28,0	196,0
Besi (mg)	8,0	4,6	0,7	4,4	6,9
Posfor (mg)	140	380	40	287	506
Vitamin B1 (mg)	0,12	0,27	0,06	0,38	0,93

Sumber: Direktorat Gizi, Departemen Kesehatan RI (1992).

Tabel 2. Komposisi nutrisi, tanin (%) beberapa galur/varietas sorgum

Varietas	Protein	Serat kasar	Lemak	Karbohidrat	Tanin
Batara Tojeng Eja	9,02	3,92	3,80	73,93	10,60
Batara Tjeng Bae	9,17	4,84	3,10	75,56	6,66
Super 2	9,20	2,01	3,10	75,60	0,30
Super 1	12,91	2,20	2,23	71,32	0,11
ICSV 210	7,90	2,55	2,96	77,46	0,30
ICSV 1	8,62	2,76	2,69	76,78	0,62
ICSH 110	8,42	3,52	2,58	77,67	1,71
IS-3259	8,96	3,16	2,31	74,53	1,82
Mandau	9,98	3,98	1,99	74,27	3,76
Manggarai/Selayar	8,42	3,19	3,02	79,12	1,71
UPCA - S1	9,86	4,02	2,12	73,10	3,98
Kawali*	8,07	2,59	1,45	75,66	1,08
Numbu* 1	8,12	2,04	1,88	74,50	0,95

Sumber: Suarni dan Singgih (2002); *Suarni dan Firmansyah (2005)

Selain karbohidrat yang tinggi, sorgum juga mengandung nutrisi lain yang cukup memadai sebagai bahan pangan. Varietas lokal unggul dari Sulawesi Selatan antara lain Batara Tojeng Eja, Batara Tojeng Bae, Lokal Jeneponto, dan Manggarai/Selayar. Kawali dan Numbu yang khusus untuk pangan adalah varietas unggul produk Badan Litbang Pertanian. Kadar tanin varietas lokal relatif tinggi dibanding varietas/galur lainnya dengan kisaran 3,67-10,60, sedangkan varietas Kawali dan Numbu masing-masing hanya 1,08 dan 0,95%. Kandungan protein sorgum relatif tidak berbeda dengan jagung bergantung pada varietas, dan lokasi pertanaman. Mutu protein suatu bahan pangan ditunjukkan oleh komposisi asam aminonya. Tepung sorgum mengandung asam amino leusin (1,31-1,39%) yang lebih tinggi dibanding terigu (0,88%). Kadar lisin tepung sorgum hanya 0,16%, jauh lebih rendah dibanding terigu 0,38%.

2.3. Varietas Sorgum

Varietas tanaman adalah sekelompok tanaman dari suatu jenis atau spesies yang ditandai oleh bentuk tanaman, pertumbuhan tanaman, daun, bunga, buah, biji, dan ekspresi karakteristik *genotipe* atau kombinasi *genotipe* yang dapat membedakan dari jenis atau spesies yang sama oleh sekurang-kurangnya satu sifat yang menentukan dan apabila diperbanyak tidak mengalami perubahan (Menurut Pasal 1 angka 3 Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2000 tentang Perlindungan Varietas Tanaman).

Program pengembangan sorgum pada tahun 1970an diarahkan untuk identifikasi varietas sebagai sumber karbohidrat untuk memenuhi kebutuhan pangan di Indonesia. Varietas yang dilepas pada periode tersebut adalah No.6C, UPCA-S2,

dan KD4 (Puslitbangtan, 2009). Pada tahun 1980an, program pemuliaan sorgum masih diarahkan untuk mengidentifikasi varietas sebagai sumber karbohidrat untuk pemenuhan kebutuhan pangan (Mudjisihono dan Damardjati 1985). Kriteria seleksi meliputi umur genjah (70-80 hari), tanaman tidak terlalu tinggi (100-140 cm), kandungan protein di atas 10%, dan kandungan tanin di bawah 0,2%. Pada periode 1980-1990 dilepas empat varietas masing-masing Keris, UPCA-S1, Badik dan Hegari Genjah. Keempat varietas tersebut mempunyai beberapa keunggulan, di antaranya berumur genjah, tinggi tanaman sedang, hasil 2,5-4 t/ha, biji putih, dan rasa cukup enak (Subandi dan Roesmarkan, 1998). Varietas Hegari Genjah banyak berkembang di dataran rendah Jawa Tengah, DIY, dan Jawa Timur.

Peningkatan potensi materi genetik pada era 1990- an dilakukan melalui uji adaptasi 15 galur sorgum introduksi. Setelah melalui serangkaian uji adaptasi diperoleh dua galur dengan keragaan hasil tinggi, yaitu CS110 dan No.311, yang kemudian dilepas dengan nama varietas Mandau dan Sangkur. Potensi hasilnya mencapai 5 t/ha, genjah (91 hari) dengan kisaran hasil 4-5 t/ha. Varietas Sangkur mempunyai potensi hasil agak rendah, 3,6-4,0 t/ha, namun mudah dirontok dan disosoh serta tahan terhadap penyakit karat dan Rhizoctonia (Rahardjo dan Fathan, 1991).

Penelitian dan pengembangan varietas unggul sorgum pada periode 2001-2013 dilakukan oleh Balai Penelitian Tanaman Sereal (Balitsereal). Varietas Numbu dan Kawali dilepas pada tahun 2001. Varietas Numbu berasal dari galur IS 23509 dari SADC (*South African Development Community*). Varietas Kawali berasal

dari galur ICSV 233 yang merupakan galur ICRISAT. Singgih dan Hamdani (2002) serta Sholihin (1996) melaporkan kedua varietas tersebut beradaptasi baik di Probolinggo, Bontobili, Bulukumba, dan Bojonegoro dengan kisaran hasil 4,6-5,0 t/ha.

Singgih dan Hamdani (2000) menyatakan varietas Numbu beradaptasi baik pada lahan kering masam, Biji sorgum varietas numbu berwarna krem dengan bentuk biji bulat lonjong. Bobot biji sorgum varietas ini mencapai 36 – 37 gr dengan potensi hasil panen 4 – 5 ton/ha, Selain itu, kadar protein dari varietas numbu ini sebesar 9,12 % dengan kadar lemak 3,94 % dan karbohidrat sebesar 84,58 % (DIY Agricenter, 2008). Varietas Kawali dicirikan oleh karakter tanaman yang pendek (135 cm) dan bulir agak tertutup sehingga kurang disenangi hama burung. Kedua varietas ini mempunyai umur dalam, 100-105 hari.

Balai Penelitian Tanaman Serealia pada tahun 2013 telah melepas dua varietas unggul sorgum untuk bioetanol, yaitu Super-1 dan Super-2. Super-1 merupakan galur asal Sumba NTT. Varietas ini mempunyai beberapa kelebihan, di antaranya penampilan batang tanaman tinggi (2,16 m), umur 105 hari, potensi hasil 5,75 t/ha, kadar gula brix 13,47%, potensi biomas 38,70 t/ha dengan potensi etanol 4.220 liter/ha. Varietas ini juga mempunyai kelebihan lain yaitu dapat diratun sampai dua kali. Super-2 adalah galur asal ICRISAT dengan penampilan tanaman yang tinggi (2,3 m) namun umurnya agak dalam (115 hari). Varietas ini tahan rebah karena batangnya kokoh, potensi hasil biji 6,3 t/ha, kadar gula brix 12,65%, potensi etanol 4.119 liter/ha, dan potensi biomas 39,30 t/ha (Aqil dkk., 2013).

2.4. Perendaman Sorgum

Upaya untuk mengurangi senyawa antinutrisi yang terdapat pada biji sorgum dapat dilakukan dengan perendaman. Perendaman dapat mengurangi senyawa tanin yang terdapat pada sorgum karena tanin dapat larut dalam air (Sukamto, 1992). Komponen-komponen nutrisi seperti vitamin dan mineral terutama yang bersifat larut air juga akan mengalami pelepasan, begitu juga dengan protein. Proses perendaman, menurut Malesshi dan Desicacher (1995), merupakan langkah awal yang memberikan efek yang positif. Pada penelitian sebelumnya penghilangan senyawa tanin pada biji sorgum dilakukan dengan cara penyosohan. Penelitian ini dibatasi pada efek perendaman untuk menurunkan tanin dan fitat.

Perendaman meningkatkan keseragaman masuknya air ke dalam biji sorgum. . Pengolahan serealia seperti pada biji sorgum sering mengharuskan bijian tersebut direndam terlebih dahulu untuk memudahkan pengolahan selanjutnya seperti penggilingan, atau memasak. Dengan demikian, penyerapan air ke dalam bahan ini sangat penting secara teoritis dan praktis bagi industri pengolahan. Jumlah air yang diserap oleh biji selama perendaman dipengaruhi oleh faktor yang berbeda seperti kadar air awal, variasi benih, dan lama perendaman. (Smith dkk., 1985).

Salah satu metode yang digunakan untuk mempersingkat waktu perendaman pada larutan alkali dan aquades dengan menggunakan air hangat. Suhu air yang lebih hangat dalam proses perendaman mampu meningkatkan difusi air pada sorgum dan mempercepat pelunakan. Difusi merupakan peristiwa mengalirnya atau berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah.

Perendaman biji sorgum dalam larutan alkali menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi, sehingga membentuk larutan keruh disertai dengan adanya penyerapan air alkali kedalam biji sorgum sehingga membuat warna sorgum menjadi lebih gelap, karena adanya energi yang bekerja dan terjadi pelepasan elektron oleh suatu atom ketika reaksi sedang berlangsung. Oleh sebab itu semakin banyak konsentrasi larutan alkali yang digunakan maka senyawa *karotenoid* yang hilang akan semakin banyak pula. Larutan alkali pada biji sorgum juga berfungsi untuk mempercepat proses perendaman (Fernandez dkk., 2008).

Aquades merupakan air hasil destilasi atau penyulingan, dapat disebut juga air murni (H_2O), karena (H_2O) hampir tidak mengandung mineral. Sedangkan air mineral merupakan pelarut yang universal. Air tersebut mudah menyerap atau melarutkan berbagai partikel yang ditemuinya dan dengan mudah menjadi terkontaminasi. Dalam siklusnya di dalam tanah, air terus bertemu dan melarutkan berbagai mineral anorganik, logam berat dan mikroorganisme. Jadi, air mineral bukan aquades (H_2O) karena mengandung banyak mineral (Santoso, 2011)

2.5. Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik dari bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung dalam bahan. Kadar air suatu bahan dapat dinyatakan dalam persen berat basah (wet basis) atau dalam persen berat kering (dry basis). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air berat kering dapat lebih dari 100%. Kadar air berat basah (%bb) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan

berat total bahan. Sedangkan kadar air basis kering adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat padatan yang ada dalam bahan (Brooker dkk, 1981).

Dalam suatu analisis kadar air bahan dilakukan dengan menggunakan basis kering. Hal ini dilakukan karena perhitungan dengan menggunakan bobot basah bahan selalu berubah-ubah setiap saat. Sedangkan berdasarkan basis kering hal ini tidak akan terjadi, karna bobot kering bahan akan selalu tetap karena pada basis kering telah mengalami pemanasan beberapa waktu tertentu sehingga beratnya konstan atau telah mencapai kadar air kesetimbangan.

Kadar air kesetimbangan suatu merupakan kadar air minimum bahan yang dapat dikeringkan dibawah kondisi pengeringan yang tetap atau pada suhu dan RH yang tetap. Suatu bahan berada dalam keadaan kesetimbangan dengan kondisi sekelilingnya bila laju kehilangan air dari bahan menuju kondisi sekelilingnya (atmosfir) adalah sama dengan laju air yang didapat dari udara sekelilingnya. Jika suatu bahan hasil pertanian dengan kadar air tertentu ditempat dalam lingkungan dengan suhu dan kelembaban tertentu, maka kadar air tersebut akan berubah sampai tercapainya kadar air kesetimbangan antara air didalam bahan dengan air di udara. Bahan akan melepaskan atau menyerap air untuk mencapai kadar air kesetimbangan (Tamrin, 2013).

2.6. Difusi Air

Difusi adalah peristiwa mengalirnya/berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian konsentrasi rendah. Perbedaan konsentrasi

yang ada pada dua larutan disebut gradien konsentrasi. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan keseimbangan dimana perpindahan molekul tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi.

Proses difusi air di dalam biji sorgum selama perendaman adalah proses yang kompleks yang memungkinkan melibatkan difusi molekul serta difusi permukaan. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel air tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan. Metode umum yang digunakan untuk mempersingkat waktu perendaman yaitu metode perendaman air hangat. Pengetahuan tentang seberapa cepat absorpsi air yang dicapai dapat digunakan untuk memprediksi laju difusivitas air pada biji sorgum.

Difusi didefinisikan sebagai salah satu proses bergeraknya molekul bahan dari satu bagian sistem ke bagian sistem yang lain berdasarkan pergerakan molekul secara acak (Crank, 1975). Hampir semua proses pemisahan dengan difusi terjadi melalui kesetimbangan antara dua fase yang tidak saling melarutkan yang mempunyai perbedaan komposisi pada saat kesetimbangan (Salisbury dan Ross, 1994). Sarasvacos (1994) menjelaskan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi. Semakin tinggi suhu, maka partikel akan mendapatkan energi untuk bergerak dengan lebih cepat yang menyebabkan laju difusi lebih cepat.

Beberapa penelitian dengan menghitung koefisien difusi bahan pertanian yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penelitian difusi air pada beberapa bahan pertanian

No	Nama Penulis	Tahun	Produk yang Digunakan	Persamaan yang Digunakan
1	Asropi dkk	2019	Sorgum	Peleg + Crank+Arrhenius
2	Febriyanto dkk	2017	Kedelai	Peleg + Crank+Arrhenius
3	Agarry dkk	2014	Jagung	Peleg + Becker+Arrhenius
4	Chevitsopon dan Nomhorm	2011	Beras Coklat	Crank + Arrhenius
5	Kashiri dkk	2010	Sorgum	Peleg + Arrhenius

2.7. Kinetika Perubahan

Orde reaksi ditentukan berdasarkan data hasil penelitian (C , sumbu y) yang diplotkan pada grafik terhadap waktu (t , sumbu x). Secara lebih jelas, untuk orde nol, orde satu, dan orde dua; masing-masing diplotkan yaitu $C_t - C_o$, $\ln(C_t / C_o)$ dan $1/C_t - 1/C_o$ terhadap waktu. Hasil pengeplotan kemudian dikonfirmasi dengan bentuk grafik berupa garis linear yang mengikuti persamaan $y = ax + b$ ditetapkan sebagai orde reaksi bagi data percobaan tersebut (Klappa, 2009).

Setelah orde reaksi diketahui, maka dilakukan penentuan konstanta laju reaksi (k) dari persamaan linear $y = ax + b$ tersebut. Nilai k yang diperoleh kemudian dimasukan kedalam persamaan kinetika sesuai orde reaksi yang telah ditetapkan diawal , dimana untuk persamaan kinetika orde satu dan orde dua masing-masing sebagaimana telah disajikan pada persamaan (20) dan (23).

Persamaan kinetika yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai prediksi C_t , yang kemudian dibandingkan dengan nilai-nilai observasi yang

diperoleh melalui penelitian. Perbandingan antara nilai-nilai prediksi terhadap nilai-nilai observasi dilakukan dalam bentuk grafik C_t prediksi terhadap C_t observasi, C_t prediksi dan C_t observasi terhadap waktu, serta koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (r) yang dihasilkan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

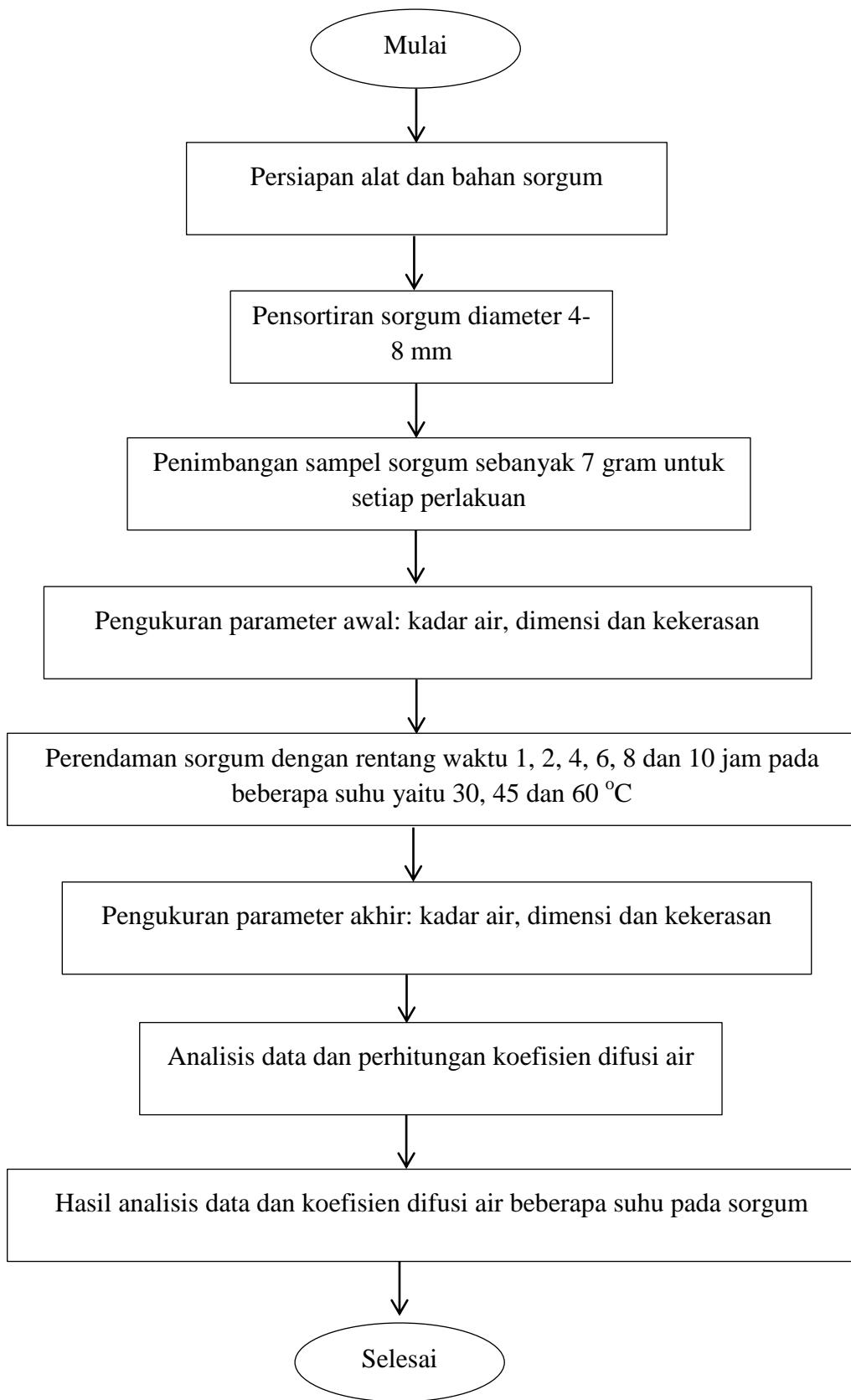
Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan april sampai juli 2019 di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pasca Panen, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *water bath*, timbangan analitik, timbangan digital OHAUS (Adventurer cap 2010 g), oven listrik (Venticell), rheometer, thermometer, cawan alumunium, gelas ukur, *stopwatch*, tabung reaksi, desikator dan kertas tisu. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan aquades, alkali dan sorgum.

3.3. Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian ini meliputi beberapa proses yang disajikan dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan

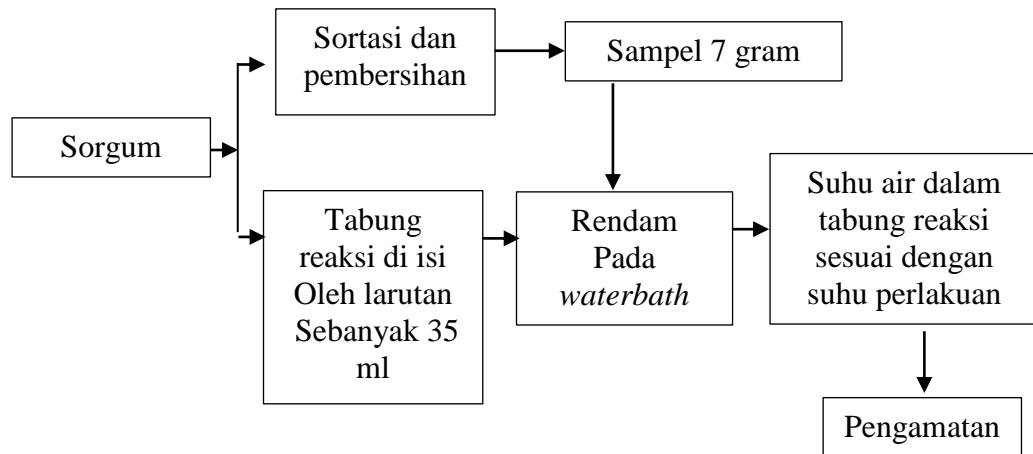
Sebelum melaksanakan tahapan penelitian, dilakukan terlebih dahulu persiapan untuk alat dan bahan yang akan digunakan. Persiapan alat dan bahan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Mengkondisikan *water bath* dan oven sesuai dengan suhu yang ditentukan.
2. Mengkondisikan timbangan analitik dan timbangan digital.
3. Mempersiapkan cawan alumunium, *stopwatch*, thermometer, gelas ukur, jangka sorong digital, rheometer, desikator dan kertas tisu.
4. Mempersiapkan bahan sorgum yang akan digunakan dengan menyortir sorgum untuk memisahkan dari kotoran yang bercampur dan menyeragamkan ukuran sorgum sehingga kondisi sorgum yang digunakan dalam kondisi baik dan seragam.

3.3.2. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan dari penelitian ini meliputi beberapa proses yang disajikan pada

Tabel 3.



Gambar 3. Pelaksanaan Penelitian

Sorgum dibersihkan dan disortir sesuai dengan ukurannya yaitu 4-8 mm . Setelah melalui proses penyortiran sorgum ditimbang tiap sampel sebanyak 7 gram untuk setiap perlakuan. Setelah itu, disiapkan tabung reaksi yang telah diisi larutan alkali dan aquades sebanyak 35 ml untuk setiap satuan percobaan, direndam didalam *waterbath* sesuai dengan suhu perlakuan. Suhu air didalam tabung reaksi dan *waterbath* harus sesuai dengan suhu perlakuan. Sorgum yang sudah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah direndam dengan air dalam *waterbath*. Sorgum yang sudah mengalami perlakuan perendaman akan dilakukan pengamatan dengan interval waktu 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 jam untuk parameter kadar air, dimensi dan kekerasan. Perlakuan suhu perendaman dilakukan pada suhu 30, 45 dan 60 °C dengan ulangan sebanyak dua kali. Setiap ulangan digunakan sampel sebanyak 10 biji sorgum untuk pengukuran kekerasan, 5 biji untuk pengukuran dimensi dan sisanya untuk pengukuran kadar air.

3.4. Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu kadar air, dimensi sorgum dan kekerasan.

3.4.1. Kadar Air

Pengukuran kadar air dilakukan dengan metode oven (AOAC, 1995) dalam (Sudarmadji dkk, 1984). Pengukuran kadar air diawali dengan pengeringan cawan alumunium pada suhu 105 °C selama 15 menit yang kemudian didinginkan di dalam desikator dan kemudian ditimbang. Selanjutnya, sampel sebanyak 10

biji sorgum dimasukkan ke dalam cawan yang telah diketahui beratnya dan ditimbang. Lalu, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam sampai berat konstan. Kemudian didinginkan di dalam desikator selama \pm 15 menit dan ditimbang. Kadar air dihitung dengan persamaan :

$$\text{Kadar Air (\% bb)} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$\text{Kadar Air (\% bk)} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

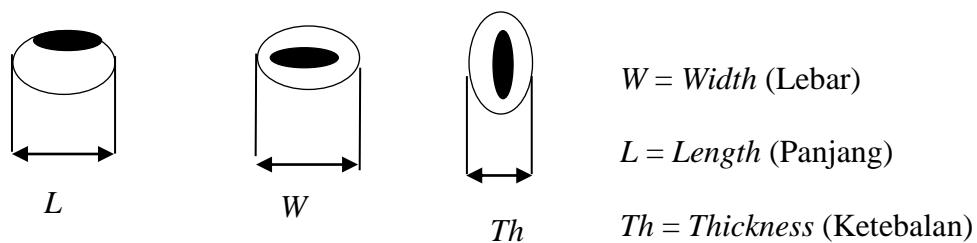
Dimana:

A = Berat awal sampel (gram)

B = Berat akhir sampel (gram)

3.4.2. Dimensi Sorgum

Pengukuran dimensi bertujuan untuk mengetahui perubahan panjang, lebar, dan ketebalan yang terjadi setelah perendaman pada suhu dan waktu yang berbeda. Diambil sampel sebanyak 5 biji dan di foto dengan *background* berwarna putih dengan format jpg, kemudian diukur dimensi panjang, lebar, dan tebal biji menggunakan *software* imageJ. Berikut prinsip pengukuran sorgum ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip pengukuran dimensi sorgum

Untuk mencari jari-jari biji sorgum (r), maka perlu mencari diameter geometri biji sorgum menggunakan persamaan (3).

$$D_{gm} = (L \times W \times Th)^{1/3} \quad \dots \quad (3)$$

Dimana: D_{gm} : Diameter geometri biji sorgum (cm^3)

L : Dimensi panjang biji sorgum (cm^3)

W : Dimensi lebar biji sorgum (cm^3)

Th : Dimensi tebal biji sorgum (cm^3)

Sehingga jari-jari biji sorgum dapat dihitung dengan persamaan:

Data yang didapatkan dari pengukuran dimensi dapat digunakan untuk menghitung nilai volume (V). Pengukuran volume dihitung menggunakan persamaan (Jain dan Bal, 1997) sebagai berikut.

Dimana V : Volume (cm^3)

L : Dimensi panjang biji sorgum (cm^3)

W: Dimensi lebar biji sorgum

B : Dimensi bagian bulat dari biji-bijian (cm^3)

3.4.3. Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan biji sebelum dan setelah terjadi perendaman. Alat yang digunakan dalam pengukuran

kekerasan biji sorgum adalah *rheometer*. *Rheometer* diatur pada kedalaman 1,5 mm dengan kecepatan 60 mm/menit. Alat ini dilengkapi dengan lempengan bahan yang diletakkan pada meja (*base*) *rheometer* yang statik. Pengukuran dilakukan dengan cara meletakkan biji sorgum pada meja *rheometer* dan tekan tombol start untuk memulai pengukuran, kemudian diturunkan hingga hampir menyentuh sampel. Setelah itu catat hasil yang tertera pada layar dengan satuan Newton. Sampel yang diukur sebanyak 10 biji sorgum untuk setiap ulangan.

3.5. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan perhitungan koefisien difusi air dan kinetika perubahan kekerasan setiap perlakuan suhu perendaman masing-masing sampel sorgum.

3.5.1. Koefisien Difusi Air

Perhitungan koefisien difusi air dihitung dengan prosedur sebagai berikut:

3.5.1.1. Persamaan Peleg

Persamaan Peleg adalah persamaan untuk memodelkan mode penyerapan air oleh bahan makanan terutama serealia basah dan biji-bijian makanan polongan. Persamaan peleg ini memiliki parameter dua arah non-eksponensial yang akurat (Peleg, 1988). Persamaan peleg sebagai berikut.

$$M_{(t)} = M_o + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

$$\frac{t}{M_t + M_0} = k_1 + k_2 t \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

Untuk mendapatkan nilai k_1 dan k_2 dengan cara membuat plot antara $(t / (M_{(t)} - M_o))$ terhadap waktu t , maka diperoleh persamaan linier. Nilai k_1 dan k_2 yang diperoleh dapat digunakan untuk menjelaskan laju penyerapan air dan kadar air kesetimbangan. Konstanta kapasitas Peleg, k_2 berhubungan dengan kadar air maksimum yang dapat dicapai. Persamaan [7] dapat diselesaikan secara matematis sehingga akan diperoleh persamaan untuk menghitung kadar air kesetimbangan (M_e) (Kashiri dkk., 2010).

$$M_{(t)} = M_o + \frac{t}{k_1 + k_2 t}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M_{(t)} = M_o + \frac{\frac{t}{k_1 + k_2 t}}{\frac{t}{\infty} + \frac{k_2 t}{\infty}}$$

$$M_{(t)} = M_o + \frac{\frac{\infty}{\infty}}{\frac{k_1}{\infty} + \frac{k_2 \infty}{\infty}}$$

$$M_{(t)} = M_o + \frac{1}{0 + k_2}$$

$$M_{(t)} = M_o + \frac{1}{k_2}$$

$$M_e = M_o + \frac{1}{k_2} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

Dimana: M_t : Kadar air pada waktu t (%)

M_o : Kadar air awal (%)

t : Lama perendaman (menit)

k_1 : Nilai konstanta Peleg (menit/%)

k_2 : Konstanta kapasitas Peleg (%-1)

M_e : Kadar air kesetimbangan (%)

Nilai Me diprediksi dengan pendekatan pada kadar air yang stabil di masing-masing perlakuan suhu perendaman. Selain itu, dengan memasukkan nilai Me yang diduga tersebut ke dalam persamaan [9] yang diplotkan dengan waktu akan diperoleh persamaan eksponensial masing-masing perlakuan suhu perendaman.

3.5.1.2. Koefisien Laju Pembasahan (k_D)

Persamaan laju penyerapan air dianalogikan dengan persamaan hukum Newton tentang pengeringan yang sering digunakan untuk menganalisis laju pengeringan biji-bijian. Menghitung koefisien laju pembasahan atau penyerapan air (k_D) dengan persamaan (Tamrin, 2013).

$$\frac{dM}{dt} = -k \cdot (M - Me) \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

Persamaan (10) dapat diselesaikan menggunakan metode integrasi analitik sehingga akan diperoleh Persamaan:

$$\begin{aligned} \frac{dM}{(M-M_e)} &= -k \cdot dt \\ \int_{M_0}^{M(t)} \frac{dM}{(M-M_e)} &= -k \int_0^t dt \\ \ln(M - M_e) |_{M_0}^{M_t} &= -k(t - 0) \\ \ln \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} &= -kt \\ \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} &= e^{-kt} \end{aligned}$$

$$MR \equiv e^{-kt} \quad (12)$$

Dimana: MR : Rasio kadar air (%/%)
 M : Kadar air bahan (%)
 M_t : Kadar air pada waktu t saat perendaman (%)
 M_0 : Kadar air awal sorgum sebelum direndam (%)
 M_e : Kadar air kesetimbangan (%)
 k_D : Koefisien pembasahan (1/menit)
 t : Waktu perendaman (menit)

3.5.1.3 Menghitung nilai koefisien difusi dengan persamaan Crank (1975)

Persamaan Crank merupakan persamaan yang digunakan untuk menduga nilai koefisien difusi pada bahan yang berbentuk bulat. Persamaan awal yaitu:

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right). \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp \frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}$$

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \exp \frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}$$

Dengan menggunakan persamaan (13) diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$e^{-kt} = \exp \frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}$$

Maka persamaan koefisien pembasahan sebagai berikut

$$-k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (15)$$

Sehingga, diperoleh persamaan koefisien difusi sebagai berikut:

$$D_{eff} = \frac{-kr^2}{\pi^2} \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

Dimana: k_D : Koefisien pembasahan (1/menit)

r : Jari-jari biji sorgum (mm)

D_{eff} : Koefisien difusi air ($m^2/detik$)

3.5.2 Energi Aktivasi Proses Difusi

Pengaruh suhu terhadap kecepatan penyerapan air dapat dianalisis menggunakan persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa kecepatan reaksi dipengaruhi oleh suhu. Energi aktivasi adalah energi yang diperlukan untuk mengaktifkan penyerapan air ke dalam biji sorgum yang dapat dihitung menggunakan persamaan Arrhenius (Wariyah, 2005).

Koefisien difusivitas yang diperoleh dari persamaan arrhenius dan energi aktivasi dihitung dengan regresi linier $\ln(D)$ terhadap $1/T$ (Kashiri dkk., 2010). Pengaruh suhu dalam koefisien difusi secara umum dijelaskan menggunakan persamaan Arrhenius (Agarry dkk., 2014). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \quad \dots \quad (17)$$

Persamaan di atas dapat diselesaikan menjadi

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 \left(\frac{Ea}{RT} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

Dimana: D_{eff} : Koefisien difusi air ($m^2/detik$)

D_o : Kostanta difusi air

Ea : Energi aktivasi (J/mol)

R : Konstanta gas ideal (8,314 J/mol K)

T : Suhu mutlak (K)

3.5.3. Kinetika Perubahan

Terori kinetika merupakan dasar untuk menjelaskan bentuk perubahan karakteristik mutu produk selama waktu tertentu pada proses perendaman dapat dinyatakan sebagai konstanta laju reaksi (k) dan tergantung pada suhu. Laju perubahan pada produk untuk parameter tertentu dapat digambarkan dengan persamaan umum kinetika sebagai berikut.

Dimana C adalah nilai indeks kualitas setelah waktu tertentu (t), k adalah konstanta laju reaksi dan n adalah orde reaksi (Klappa, 2009).

Orde reaksi ditentukan berdasarkan data hasil penelitian (C, sumbu y) yang diplotkan pada grafik terhadap waktu (t, sumbu x). Secara lebih jelas, untuk orde satu dan orde dua; masing-masing diplotkan yaitu $\ln(C_t/C_0)$ dan $1/C_t - 1/C_0$ terhadap waktu. Hasil pengeplotan kemudian dikonfirmasi dengan bentuk grafik yang menunjukkan hasil pengeplotan dengan bentuk berupa garis linear yang mengikuti persamaan $y = ax + b$ ditetapkan sebagai orde reaksi bagi data percobaan tersebut (Klappa, 2009).

3.5.3.1. Reaksi Orde Satu

Jika laju reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksinya, maka reaksi tersebut memiliki orde satu. Persamaan laju reaksi orde satu merupakan persamaan linier. Jika konsentrasinya meningkat maka laju reaksi akan meningkat 10 kali lipat. Dari persamaan umum kinetika, $dC/dt = -k C^n$, persamaan laju reaksi orde satu ($n=1$) dinyatakan sebagai Persamaan (20).

$$\frac{dC}{dt} = -k C^1$$

Hasil integrasi Persamaan (20) dengan batas C_o pada saat $t=0$ dan C_t pada saat $t=t$ dinyatakan dalam Persamaan (21).

Persamaan (21) merupakan persamaan linier $y = ax$, dimana $\ln C_t - \ln C_o$ sebagai nilai y , $-k$ sebagai a (*slope*), dan $t_t - t_o$ sebagai nilai x . Nilai k yang diperoleh kemudian digunakan untuk mencari nilai prediksi parameter tiap waktu. Prediksi masing-masing parameter untuk reaksi orde satu dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (22).

$$C_t = C_o \cdot e^{-k(t_t - t_o)} \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

3.5.3.2. Reaksi Orde Dua

Jika suatu laju reaksi berubah secara kuadrat terhadap konsentrasi pereaksinya, maka reaksi tersebut memiliki orde dua. Jika konsentrasi meningkat 10 kali maka laju reaksi akan mengalami kenaikan 10^{10} lebih besar. Dari persamaan umum kinetika, $dC/dt = -k C^n$, persamaan laju reaksi orde dua ($n=2$) dinyatakan sebagai Persamaan (4) dan hasil pengolahannya dapat juga dituliskan sebagai Persamaan (23).

Hasil integrasi Persamaan (24) dengan batas C_0 pada saat $t=0$ dan C_t pada saat $t=t$ dinyatakan dalam Persamaan (25).

Persamaan (7) merupakan persamaan linier $y = ax$, dimana $-\left(\frac{1}{c_t} - \frac{1}{c_o}\right)$ sebagai nilai y , $-k$ sebagai a (*slope*), dan $t_t - t_o$ sebagai nilai x . Nilai k yang diperoleh kemudian digunakan untuk mencari nilai prediksi parameter tiap waktu. Prediksi masing-masing parameter untuk reaksi orde dua dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (26).

dengan C_o adalah nilai awal dari parameter yang akan dianalisis (Klappa, 2009).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai koefisien difusi air pada biji sorgum selama peredaman 10 jam untuk jenis perendaman aquades sebesar $3,3341 - 3,6530 \times 10^{-11}$ (m^2/detik), dan alkali sebesar $3,4355 - 3,5950 \times 10^{-11}$ (m^2/detik).
2. Nilai energi aktivasi pada biji sorgum selama perendaman 10 jam untuk perendaman aquades sebesar 2,582 kJ/mol dan alkali sebesar 1,275 kJ/mol
3. Pada perlakuan larutan perendaman aquades dan alkali perubahan kekerasan menggunakan persamaan kinetika Orde 2, sedangkan untuk perubahan dimensi menggunakan persamaan kinetika orde 1, masing-masing persamaan merupakan persamaan terbaik dalam perhitungan nilai konstanta laju reaksi perubahan dan energi aktivasi perubahan parameter pengamatan biji sorgum selama perendaman.
4. Nilai konstanta laju perubahan kekerasan (k_k) sorgum untuk jenis perendaman aquades dan alkali secara berturut-turut berkisar antara $0,07 - 0,19 \times 10^{-3}$ (menit/N) dan $0,07 - 0,20 \times 10^{-3}$ (menit/N), sedangkan nilai konstanta laju perubahan dimensi (k_V) biji sorgum pada jenis perendaman aquades dan alkali

berkisar antara $0,55 - 0,83 \times 10^{-3}$ (menit/cm³) dan $0,84 - 0,92 \times 10^{-3}$

(menit/cm³)

5. Nilai energi aktivasi perubahan kekerasan sorgum pada jenis perendaman aquades dan alkali sebesar 27,86 kJ/mol dan 29,43 kJ/mol , sedangkan energi aktivasi perubahan dimensi biji sorgum pada jenis perendaman aquades dan alkali sebesar 9,833 kJ/mol dan 2,533 kJ/mol .

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat saya ajukan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penambahan waktu perendaman supaya dapat mencapai kadar air kesetimbangan.
2. Perlu dilakukan pengukuran atau perendaman menggunakan taraf larutan Ph yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarry, S. E., T. J. Afolabi dan T. Y. Tunde-Akintunde. 2014. Modelling The Water Absorption Characteristics of Different Maize (*Zea Mays L.*) Types During Soaking. *Journal Food Processing and Technology*. Vol. 5(5): 1–9.
- Agustina, N., S. Waluyo, Warji dan Tamrin. 2013. Pengaruh Suhu Perendaman Terhadap Koefisien Difusi dan Sifat Fisik Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris L.*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. Vol. 2(1): 35–42
- Anas. 2007. *Pengembangan tanaman sorgum sebagai basis diversifikasi pangan. Seminar Nasional Apresiasi Pengembangan Sorgum*. Kupang Nusa Tenggara Timur, 19-21 Juni 2007. Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, Direktorat Budidaya Serealia.
- Ansari, S., Maftoon-Azad, N., Hosseini, E., Farahnaky, A., and Asadi, G.H. (2015). Kinetic of Color and Texture Changes in Rehydrated Figs. *Journal of Agricultural Sciences*, 21, 108–122. DOI: <http://dx.doi.org/10.15832/tbd.47774>
- Anugrahwati, Y. (2005). *Perubahan karakteristik mutu dan analisis kinetika selama penyimpanan puree mangga (Mangifera Indika L)*. (Tesis tidak diterbitkan). Program Studi ilmu pangan institut pertanian bogor, Bogor.
- Arpah. 2007. *Penetapan Kadaluarsa Pangan*. Departemen Teknologi Pangan dan Gizi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hal 13-114.
- Arpah, M dan R. Syarief. 2000. Evaluasi model-model pendugaan umur simpan pangan dari difusi hukum Frick Unidireksional. *Buletin Teknologi dan Industri Pangan* 16: 15-21.
- Aqil, M., Zubachtirodin, dan C. Rapar. 2013. *Deskripsi varietas unggul jagung, sorgum, dan gandum*, Edisi 2013. Balai Penelitian Tanaman Serealia. Maros.
- Asrofi, A., B. Nursigit, N.W.K. Joko, R. Sri, dan D.S. Arifin. 2019. Kinetika Perubahan Sifat Fisik dan Kadar Tanin Biji Sorgum (Sorgum Bicolor L.) Selama Perendaman. *Agritech*. Vol. 39 (3), 222-233

- Bello, M., M.P. Tolaba dan C. Suarez. 2004. Factors Affecting Water Uptake of Rice Grain During Soaking. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. Vol. 37(8): 811–816.
- Brokeer, D. B., Bakker, F. W., dan Hall, C. W .1981. *Drying Cereal Grains*. The AVI Pub. Co., Inc.,Westport,Connecticut.
- Chevitsopon, E. dan A. Noomhorm. 2011. Kynetics of Hydration and Dimensional Changes of Brown Rice. *Journal of Food Processing and Preservation*. Vol. 35(6): 840–849.
- Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion Second Edition*. Oxford University Press. Oxford. 411 hlm
- Coşkuner, Y and E. Karababa, 2005. Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum L.*). *Journal of Food Engineering* 80 (2) : 408 – 416.
- Cunningham, S.E., W.A.M. McMinn, T.R.A. Magee dan P.S. Richardson. 2007. Modelling Water Absorption of Pasta During Soaking. *Journal of Food Engineering*. Vol. 82(4): 600–607.
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1992. *Daftar komposisi bahan makanan*. Bhratara Karya Aksara, Jakarta.
- DIY, Agricenter. 2008. *Teknologi Produksi Sorgum*. Seksi Pengembangan Teknologi dan Produksi Perbenihan Tanaman Pangan. UPTD Balai Pengembangan Perbenihan Tanaman Pangan dan Hortikultura
- Efendi, R., M. Aqil, dan M. Pabendon. 2013. Evaluasi genotipe sorgum manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) produksi biomas dan daya ratun tinggi. *Jurnal Tanaman Pangan*. Vol. 32 No. 2: 116-125.
- El Fadel EB, Abdullah ET. (1993). Effect of Soaking in Water or in Sodium Carbonate on Tannin Content and In Vitro Protein Digestibility of Sorghum Cultivars. *International J. Food Sci. and Techn.* 28 (4) : 389-395.
- FAO. 2005. *Sweet Sorghum in China*. Agriculture and consumer protection, Food agricultural organization of United Nations, Department.
- FAO Corporate Document Repository. 2013. *Integrated Energy Systems In China - The Cold Northeastern Region Experience*. Natural Resources Management and Environment Department
- Febriyanto, H. 2017. Karakteristik Fisik dan Koefisien Difusi Air Empat Varietas Unggul Kedelai (*Glycine max*) pada Beberapa Suhu Perendaman . (Skripsi). Universitas Lampung, Lampung. 98 pp.

- Fessenden, R. J., Fessenden, J. S. (1986). *Kimia Organik*. ed ke-3. Jilid 1. Jakarta: Erlangga
- Foke, V. 2013. Modelling of Hydration Kinetics of Rice With and Without Husk and Blackgram. *Tesis. Agricultural Process and Food Engineering.* Acharya N.G. Ranga Agricultural University. India
- Firdaus M, Lukman MB, Purwiyanti P. 2008. *Swasembada Beras Dari Masa Ke Masa : Telaah Efektivitas Kebijakan dan Perumusan Strategi Nasional.* IPB Press. Bogor
- Hahn DH, Rooney LW. 1985. Effect of genotype on tanin and phenols in sorgum. *Cereal Chemistry* 63 (1):4-8.
- Hariyadi1,P., 2004. *Prinsip Penetapan dan Pendugaan Masa Kadaluarsa dan Upaya-Upaya Memperpanjang Masa Simpan.* Departemen Teknologi Pangan dan Gizi Fakultas Teknologi Pertanian IPB.Bandung.
- House, L.R. 1985. A guide to Sorghum Breeding. 2nd Ed. International Crops Research Institute ffor Semi-Arid Tropics (ICRISAT). India. 206 p
- Hoeman, S. 2009, Prospek dan Potensi Sorgum Sebagai Bahan Baku Bioetanol, Melalui: <<http://www-bsl-online.com>> (29/4/ 2009).
- Hubbard, J. K., Hall, H. H., Earle, F. R. (1950). Composition of The Component Parts of Sorghum Kernel. *Cereal Chem*, 27.
- Hubeis M. 1984. *Pengantar Pengolahan Tepung Serealia dan Biji-bijian.* Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kashiri, M., M. Kashaninejad dan N. Aghajani. 2010. Modeling Water Absorption of Sorghum During Soaking. *Latin American Applied Research*.Vol. 40(4): 383–388.
- Klappa, P. 2009. *Kinetics for Bioscientist*. Peter Klappa and Ventus Publishing. New York. 221 hlm.
- Kusumah dan Andarwulan. 1989. *Prinsip Teknologi Pangan*. Jakarta: Rajawali Press.
- Malesshi, N. G. and Desicacher. 1995. Nutrient Composition Amino Acid and Vitamin Content of Malled Sorghum, Pearl Millet, Finger Millet and Their Rootlets.
- Mudjisihono, R. dan D.S. Damardjati. 1985. *Masalah dan hasil penelitian pascapanen sorgum*. Risalah Rapat Teknis Puslitbangtan, Bogor.

- Mulyana. 1988. Pengaruh Varietas Beras, Perlakuan Kimia dan Suhu Pengeringan pada Pembuatan Bubur Nasi Kering. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor.
- Peleg, M. 1988. An Empirical Model for The Description of Moisture Sorption Curve. *Journal of Food Science*. Vol. 53(4): 1216–1218
- Pratiwi, Y.K., S. Waluyo., Warji dan Tamrin. 2013. Pengaruh Suhu Perendaman Terhadap Koefisien Difusi Air dan Sifat Fisik Kedelai (*Glycine max Merill*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. Vol. 2(2): 59–66
- Puslitbangtan. 2009. *Deskripsi varietas unggul palawija*. Edisi 2009. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor
- Rahardjo, M. dan R. Fathan. 1991. Tanggapan beberapa varietas/galur sorgum terhadap pengapuran dan pemupukan fosfat pada tanah podsolist merah kuning. *Jurnal Penelitian Pertanian* 11(1):5-9.
- Rooney, L. W., Miller, F. R. (1982). Variation in The Structure and Kernel Characteristics of Sorghum. *Proceesing of The Symposium on Sorghum*, 1, 28 – 31 Oktober 1981.
- Salisbury, F. B. Dan C. W. Ross. 1996. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid 1. Edisi IV. ITB, Bandung.
- Sholihin. 1996. *Evaluasi galur-galur harapan sorgum di Jawa Timur*. Hasil Penelitian Balitjas, 1995/1996. Balai Penelitian Tanaman Serealia. Maros
- Singh, R.P. 1994. *Scientific principles of shelf life evaluation*. Dalam: Man, C. M. D., dan Jones, A. A. (Ed). Shelf life evaluation of foods. Chapman and Hall Inc. New York
- Singgih, S. dan M. Hamdani. 2002. *Evaluasi daya hasil galur sorgum*. Risalah Penelitian Jagung dan Serealia Lain, Balai Penelitian Tanaman Jagung dan Serealia Lain, Maros, Sulawesi Selatan.
- Sirappa, M.P. 2003. Prospek Pengembangan Sorgum di Indonesia Sebagai Komoditas Alternatif Untuk Pangan, Pakan, dan Industri. *Jurnal Litbang Pertanian* 22 (4).
- Smith DA, Rao RM, dan Liuzzo JA. 1985. Chemical Treatment and Process Modification for Producing Improved Quick Cooking Rice. *J. Food. Sci.* 50 : 926-931.
- Suarni dan S. Singgih. 2002. *Karakteristik sifat fisik dan komposisi kimia beberapa varietas/galur biji sorgum*. *J. Stigma X* (2):127-130

- Suarni dan I.U. Firmansyah. 2005. *Potensi sorgum varietas unggul sebagai bahan pangan untuk menunjang agroindustri*. Prosiding Lokakarya Nasional BPTP Lampung, Universitas Lampung. p. 541-546.
- Subandi dan Roesmarkan. 1988. *Perbaikan varietas*. Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor. p. 81-98
- Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 1984. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Penerbit Angkasa. Bandung.
- Suprapto., dan R. Mudjisihono. 1987. *Budidaya dan Pengolahan Sorgum*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sukamto. 1992. Perubahan Komposisi Nitrogen dan Phospat Serta Aktivitas Anti Gizi Selama Perkecambahan Biji Kedelai. Thesis Program Pasca Sarjana Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Gadjahmada, Yogyakarta
- Syam, M., Hermanto dan A. Musaddad. 1996. *Kinerja Penelitian Tanaman Pangan, Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III, Buku 4*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor
- Taiwo, K. A., C.T. Akanbi, and O.O. Ajibola, 1998. Regression relationships for the soaking and cooking properties of two cowpea varieties. *J. Food Eng.*, 37(3): 331–344
- Tamrin. 2013. *Buku Ajar Teknik Pengeringan*. Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 247 hlm.
- Taylor, J.R.N., Schober, T.J. and Bean, S.R. 2006. Review: Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* 44: 252-271.
- Tunde-Akintunde, T. Y. 2010. Water Absorption Characteristics of Nigerian Acha (*Digitaria exilis*). *International Journal of Food Engineering*. Vol. 6(5): 1-10.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015. *USDA Agricultural Research Service National Nutrient Database for Standard Reference Nutrient Data Laboratory Home Page*. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search>. Diakses 28 Oktober 2016
- Wariyah, C. 2005. Kinetika Penyerapan Air Selama Perendaman Biji Jagung. *Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Wangsa Manggala, Yogyakarta*. Vol. 23(2):82-94
- Warta IPTEK. 2012. *Potensi tanaman sorgum untuk menopang ketahanan pangan nasional*. 27 September