



SKRIPSI – TK141581

**STUDI KINETIKA PENURUNAN KADAR SIANIDA
PADA PROSES PENCUCIAN DAUN SINGKONG
(*Manihot utilissima*)**

Oleh:

**Christa Kathleen Sitania
NRP. 0221134000140**

**Claudya Patricia Caesy
NRP. 0221134000168**

Dosen Pembimbing

Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D.

NIP. 1976 03 23 2002 12 1001

Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T., M.MT., Ph.D.

NIP. 1978 09 22 2008 12 1001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT – TK141581

**KINETIC STUDY OF DEGRADATION OF
CYANIDE CONTENT IN WASHING PROCESS OF
CASSAVA LEAVES (*Manihot utilissima*)**

**Christa Kathleen Sitania
NRP. 02211340000140**

**Claudya Patricia Caesy
NRP. 02211340000168**

**Advisor Lecturer
Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D.
NIP. 1976 03 23 2002 12 1001
Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T., M.MT., Ph.D.
NIP. 1978 09 22 2008 12 1001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Studi Kinetika Penurunan Kadar Sianida pada Proses Pencucian Daun Singkong (*Manihot utilissima*)

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

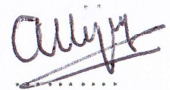
Oleh:

Christa Kathleen Sitania
Claudia Patricia Caesy

NRP 02211340000140
NRP 02211340000168

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D.
(Pembimbing 1)
2. Hakun Wirawasista A., S.T., M.MT., Ph.D.
(Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng.
(Penguji I)
4. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
(Penguji II)



Surabaya, Januari 2018



STUDI KINETIKA PENURUNAN KADAR SIANIDA PADA PROSES PENCUCIAN DAUN SINGKONG (*Manihot utilissima*)

Mahasiswa : 1. Christa Kathleen Sitania 02211340000140
2. Claudya Patricia Caesy 02211340000168
Pembimbing : 1. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D.
2. Hakun Wirawasista A., S.T., M.MT., Ph.D.

ABSTRAK

Singkong (*Manihot utilissima*) adalah tanaman pangan yang dapat dimanfaatkan dari bagian akar, batang, serta daunnya. Namun, daun singkong kurang diminati karena toksisitas pada daun akibat adanya glukosida sianogenik 5-20 kali lebih besar dibanding pada akarnya. Meskipun demikian, daun singkong mengandung zat hara yang tinggi melebihi sayuran hijau dan bahan makanan pokok lainnya. Oleh karena itu, pengurangan kadar sianida perlu dilakukan agar daun singkong aman dikonsumsi. Penelitian mengenai upaya pengurangan kadar sianida pada daun singkong telah banyak dilakukan. Namun, studi kinetika mengenai kadar sianida pada daun singkong belum pernah dilakukan. Padahal studi kinetika dapat digunakan oleh produsen bahan baku untuk mengoptimalkan sistem pengolahan, merancang proses, dan mengembangkan sistem kontrol untuk operasi pemrosesan daun singkong. Selanjutnya, pengetahuan tentang perilaku kinetika *leaching* sianida pada daun singkong dengan air dapat digunakan untuk memprediksi mekanisme perpindahan massa (difusi) dan untuk memperkirakan waktu pencucian agar sianida pada daun singkong mencapai kondisi kesetimbangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian, yang dapat dimodelkan dengan menggunakan model matematika yang terkait dengan hukum kedua Fick, yaitu model Crank, serta membandingkannya dengan model empiris. Waktu pencucian yang digunakan adalah 1, 5, 10, 15, dan 20 jam,

sedangkan rasio volume air terhadap daun singkong yang digunakan adalah 10, 30, dan 50 ml/g. Respon dari penelitian ini adalah Grafik Kadar HCN, Grafik Sianida Rasio, dan Grafik Koefisien Difusi HCN. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa kadar HCN residual dalam daun singkong menurun seiring bertambahnya waktu pencucian dan rasio volume air terhadap daun singkong. Nilai D_{se} yang didapatkan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g yaitu $9,10 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, $1,40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan $9,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ pada metode regresi linear, serta $1,98 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, $2,58 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan $2,20 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ pada metode regresi non linear. Model empiris yang paling mendekati dengan hasil eksperimen adalah Logarithmic, Two Term, dan Modified Henderson-Pabis, dengan nilai terendah untuk RMSE ($<0,011$) dan SSE ($<0,00011$).

Kata kunci : Daun Singkong, Difusi, HCN, *Manihot utilissima*

KINETIC STUDY OF DEGRADATION OF CYANIDE CONTENT IN WASHING PROCESS OF CASSAVA LEAVES (*Manihot utilissima*)

Students : 1. Christa Kathleen Sitania 02211340000140
2. Claudya Patricia Caesy 02211340000168
Advisers : 1. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D.
2. Hakun Wirawasista A., S.T., M.MT., Ph.D.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot utilissima*) is a food crop that can be utilized from its tuber, stem and also its leaves. However, cassava leaf is less desirable because of the toxicity in the leaves due to the presence of cyanogenic glucosides are 5-20 times greater than in the tuber. Nevertheless, cassava leaves contain high nutrient contents that exceeds green vegetables and other staple foods. Therefore, it is necessary to eliminate or reduce the cyanogen content so that the cassava leaves are safe for consumption. Research on efforts to reduce cyanide levels on cassava leaves has been widely practiced. However, a kinetic study of cyanide content in cassava leaves has never been done. Actually, in fact kinetics studies can be used by the manufacturers to optimize processing systems, design processes, and develop control systems for processing operations of cassava leaves. Furthermore, knowledge of kinetic leaching cyanide behaviour on cassava leaves with water can be used to predict mass transfer mechanism (diffusion) and to estimate the washing time for cyanide on cassava leaves to reach equilibrium condition. On this experiment, the washing time which will be tested are 1, 5, 10, 15, and 20 hours meanwhile the ratio of volume to mass are 10, 30, and 50 ml/g. The response from this experiment is HCN Content in Cassava Leaves, Graph of HCN Content, Graph of Cyanide Ratio, and Graph of HCN Diffusion Coefficient. It was found that the residual HCN content in cassava leaves decreases along with increasing volume of water. D_{se} value which is

obtained for ratio of volume to mass 10, 30, and 50 ml/g are $9,10 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, $1,40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, and $9,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ with Linear Regression Method, and also $1,98 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, $2,58 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, and $2,20 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ with Non Linear Regression Method. The most approaching empirical model with experimental result are Logarithmic, Two Term, and Modified Henderson-Pabis, with the minimum value for RMSE (<0.011) and SSE (<0.00011).

Keywords : Cassava Leave, Diffusion, HCN, *Manihot utilissima*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul :

”STUDI KINETIKA PENURUNAN KADAR SIANIDA PADA PROSES PENCUCIAN DAUN SINGKONG (*Manihot utilissima*)”

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program S-1 di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Ibu Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi S1 Departemen Teknik Kimia FTI – ITS Surabaya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Biokimia, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Bapak Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 kami atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
5. Bapak Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T., M.MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 kami atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc. atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.

7. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Kimia FTI – ITS Surabaya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.
9. Orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
10. Keluarga besar Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), khususnya teman-teman di Laboratorium Teknologi Biokimia Departemen Teknik Kimia FTI-ITS atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan skripsi ini masih ada kekurangan dan belum sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, Januari 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Batasan Penelitian.....	5
I.4 Tujuan Penelitian.....	5
I.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Ekologi dan Karakteristik Singkong.....	7
II.2 Produksi.....	9
II.3 Varietas Singkong.....	10
II.4 Ciri Morfologi.....	12
II.4.1 Akar.....	12
II.4.2 Batang.....	13
II.4.3 Daun.....	14
II.4.4 Bunga.....	16
II.5 Kandungan Nutrisi Daun Singkong.....	17
II.6 Faktor Anti-Nutrisi pada Daun Singkong.....	20
II.7 Difusi.....	23
II.7.1 Difusi pada Bola.....	26
II.7.1.1 Non-Steady State.....	26
II.7.1.2 Difusi pada Daun Singkong.....	27
II.8 Model Matematika.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Bahan dan Alat Penelitian.....	33
III.1.1 Bahan Penelitian.....	33
III.1.2 Alat Penelitian.....	33

III.2 Variabel Penelitian	34
III.3 Prosedur Penelitian	34
III.3.1 Persiapan Bahan dan Analisa Kadar HCN Awal	34
III.3.2 Proses Pencucian.....	34
III.4 Analisa Kadar HCN (SNI 2011)	35
III.5 Studi Kinetika	36
III.5.1 Data Eksperimen	36
III.5.2 Model Crank	36
III.5.2.1 Metode Regresi Linear.....	37
III.5.2.2 Metode Regresi Non Linear.....	37
III.5.2.3 SR Model dan D_{se}	40
III.6 Model Empiris.....	40
III.7 Uji Statistik	42
III.8 Diagram Alir Prosedur Penelitian	43
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Kadar HCN Awal Daun Singkong.....	46
IV.2 Pengaruh Rasio Volume Air terhadap Kadar HCN.....	48
IV.3 Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Kadar HCN.....	49
IV.4 Model Matematika	52
IV.5 Estimasi Koefisien Difusi Sianida Efektif (D_{se})	66
IV.6 Permodelan Kinetika <i>Leaching</i> Sianida.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	73
V.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR NOTASI	xviii
APPENDIKS	
RIWAYAT HIDUP PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Tanaman Singkong	7
Gambar II.2	Akar Singkong	13
Gambar II.3	Batang Singkong.....	13
Gambar II.4	Daun Singkong	14
Gambar II.5	Bunga Singkong	17
Gambar II.6	Struktur Kimia Glukosida Sianogenik.....	22
Gambar II.7	Lokasi Glukosida Sinogenik dan Enzim Linamarase	22
Gambar II.8	Proses Pemecahan Linamarin	23
Gambar II.9	Mekanisme Perpindahan Massa pada Ekstraksi Daun Singkong	24
Gambar III.1	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	43
Gambar IV.1	Struktur Molekul HCN	47
Gambar IV.2	Hubungan Kadar HCN dengan Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong	49
Gambar IV.3	Hubungan Kadar HCN terhadap Waktu Perendaman	50
Gambar IV.4	Hubungan antara SR eksperimen terhadap waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong	54
Gambar IV.5	Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong 10 ml/g.....	56
Gambar IV.6	Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong 30 ml/g.....	56
Gambar IV.7	Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong 50 ml/g.....	57

Gambar IV.8	Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Linear.....	58
Gambar IV.9	Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 1$)	61
Gambar IV.10	Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 2$)	61
Gambar IV.11	Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 3$)	62
Gambar IV.12	Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 4$)	62
Gambar IV.13	Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 5$)	63
Gambar IV.14	Hubungan antara SR terhadap waktu untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 10 ml/g.....	64
Gambar IV.15	Hubungan antara SR terhadap waktu untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 30 ml/g.....	65

Gambar IV.16	Hubungan antara SR terhadap waktu untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 50 ml/g.....	66
Gambar IV.17	Hubungan antara D_{se} terhadap Rasio pada metode Regresi Linear dan metode Regresi Non Linear	68
Gambar IV.18	Hubungan antara SR terhadap waktu pada rasio 10 ml/g.....	69
Gambar IV.19	Hubungan antara SR terhadap waktu pada rasio 30 ml/g.....	70
Gambar IV.20	Hubungan antara SR terhadap waktu pada rasio 50 ml/g.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Perbandingan Kandungan Gizi Daun Singkong dengan Bahan Makanan Lainnya	2
Tabel II.1	Data Produksi Singkong di 5 Negara di Dunia.....	9
Tabel II.2	Data Produksi Singkong di Indonesia Tahun 2015.....	10
Tabel II.3	Kadar HCN pada Beberapa Varietas Singkong.....	11
Tabel II.4	Preferensi Konsumen Daun Singkong di Berbagai Daerah.....	15
Tabel II.5	Komposisi Proksimat Daun Singkong.....	18
Tabel II.6	Komposisi Asam Amino pada Daun Singkong	19
Tabel II.7	Anti-Nutrisi pada Daun Singkong	21
Tabel II.8	<i>Thin Layer Drying Model</i>	31
Tabel III.1	Model Matematika yang Dipilih untuk Mengetahui Kinetika <i>Leaching</i> Sianida	41
Tabel IV.1	Hasil Analisa Kadar HCN Awal Daun Singkong	46
Tabel IV.2	Presentase Penurunan Kadar HCN pada Daun Singkong	51
Tabel IV.3	Hasil Perhitungan pada Rasio 10 ml/g dengan MATLAB.....	59
Tabel IV.4	Hasil Perhitungan pada Rasio 30 ml/g dengan MATLAB.....	59
Tabel IV.5	Hasil Perhitungan pada Rasio 50 ml/g dengan MATLAB.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Singkong (*Manihot utilissima*) merupakan salah satu tanaman yang banyak ditanam di negara tropis dan subtropis di Afrika, Asia, dan Amerika Latin. Karena tanaman ini dapat mendukung ketahanan pangan daerah dengan curah hujan rendah dan bertanah marjinal. Singkong dapat tumbuh dengan baik karena toleransi kekeringan yang tinggi dan dapat tumbuh di tanah yang buruk, di mana tanaman pangan pokok lainnya tidak dapat tumbuh tanpa masukan intensif.

Singkong menyediakan sumber energi yang besar, yaitu sekitar 610 kJ/100 g akar segar, dibandingkan dengan tanaman akar lainnya, seperti ubi jalar yang menghasilkan energi sebesar 460 kJ/100g dan talas 490 kJ/100g (Bradbury dan Holloway, 1988). Singkong menjadi sumber makanan terpenting ketiga di daerah tropis setelah padi dan jagung, yang merupakan makanan pokok dari setidaknya 500 juta orang (Cock, 1985). Perkiraan produksi singkong lebih dari 263 juta ton dan secara luas ditanam di 105 negara tropis dan subtropis (Karri dan Nalluri, 2016). Pada tahun 2020, produksi singkong diperkirakan akan mencapai 291 juta ton (Scott et al., 2000).

Singkong utamanya diambil bagian akarnya, namun batang, daun, dan tangkai daun singkong juga bisa dimakan dan banyak digunakan sebagai makanan (Lancaster dan Brooks, 1983). Namun, akar singkong memiliki kekurangan tertentu, jaringannya mengandung senyawa beracun glikosida sianogenik dan kandungan proteinnya sangat rendah (1% dari berat akar segar) dan masa simpan yang sangat pendek dalam bentuk segar 1 - 3 hari. Mengenai senyawa beracun, ada beberapa tanaman yang mengandung glikosida sianogenik, misalnya yang tergolong dalam famili *Rosaceae*, antara lain kacang almond, apel, ceri, dan sorgum. Namun, singkong dan sorgum adalah makanan pokok terpenting yang mengandung glikosida sianogenik pada bagian yang dapat

dimakan. Glikosida sianogenik berperan melindungi tanaman dari gangguan predator, seperti cacing dan mamalia (Chiwona-Karlton et al., 2000).

Sebagai tanaman pangan alternatif, akar singkong (umbi) bukan satu-satunya bagian yang bisa digunakan. Bagian lain juga bisa diolah menjadi bahan makanan bergizi, misalnya batang dan daun tanaman singkong. Daun singkong merupakan sayuran penting yang tersedia sepanjang tahun (Karri dan Nalluri, 2016). Daun singkong merupakan bagian utama dari makanan di beberapa negara, namun ada banyak negara yang belum mengonsumsinya, meskipun singkong sudah banyak ditanam dan mudah tersedia. Daun singkong dikonsumsi sebagai sayuran setidaknya di 60% negara di Afrika dan beberapa negara Asia seperti Indonesia, Filipina, dan Malaysia (Achidi et al., 2005).

Daun singkong sudah menjadi salah satu makanan pendukung yang dikonsumsi masyarakat Indonesia, yang diperkirakan mencapai 0,5 - 0,7 juta ton per tahun. Daun singkong merupakan salah satu bagian dari tanaman singkong yang memiliki kandungan zat hara tinggi yang melebihi sayuran hijau dan bahan makanan pokok lainnya. (Wargiono et al., 2002).

Tabel I.1 Perbandingan Kandungan Gizi Daun Singkong dengan Bahan Makanan Lainnya

Sayuran / Makanan Pokok	Kandungan Nutrisi (per 100 g)				
	Kalori (cal)	Protein (g)	Besi (mg)	Vit. A (mg)	Vit. C (mg)
Daun singkong	131	12,7	3,9	13.000	58
Bayam	30	3,5	3,9	6.090	80
Kedelai fermentasi	149	18,3	10,0	50	50
Beras	360	6,8	0,8	0	0
Umbi singkong	145	0,8	0,7	385	30

Sumber : (Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI, 1979)

Tabel I.1 menunjukkan bahwa daun singkong memiliki kandungan protein, vitamin A, dan vitamin C di atas rata-rata

bahan makanan pokok lainnya. Bahkan bila dibandingkan dengan akarnya sendiri, daun singkong mengandung kandungan protein kasar yang lebih tinggi (17,7 - 38,1%). Hal ini sebanding dengan telur mentah (10,9 g / 100 g) dan profil asam aminonya serupa dengan yang ditemukan pada telur ayam jantan (Karri dan Nalluri, 2016). Kandungan total asam amino esensial pada daun singkong lebih tinggi dari pada kedelai, bayam, dan beras. Daun singkong juga kaya akan sumber kalsium dan besi (Wargiono et al., 2002). Dengan demikian, kandungan daun singkong secara keseluruhan lebih baik dari pada kedelai, sayuran berdaun, telur, dan beras yang berperan penting dalam pola makan sehat dan dapat mengurangi masalah yang berkaitan dengan gizi buruk dengan mengenalkan daun singkong sebagai sayuran dalam makanan.

Kelemahan utama dari penggunaan daun singkong yang meluas sebagai makanan bagi manusia adalah daun singkong mengandung potensi sianogenik 5 sampai 20 kali lebih banyak dari pada akarnya dan dianggap sangat beracun, tergantung pada jumlah yang dikonsumsi (Bokanga, 1994). Selain itu, daun singkong juga mengandung beberapa anti nutrien, yaitu oksalat, nitrat, polifenol, hemaglutinin, antitripsin, dan saponin (Wobeto et al., 2007).

Kehadiran senyawa beracun pada daun singkong menimbulkan kekhawatiran karena dapat berdampak terhadap kesehatan. Konsumsi daun singkong yang mengandung sejumlah besar sianogen dapat menyebabkan keracunan sianida, dengan gejala sakit kepala, mual, pusing, diare, dan muntah, bahkan menyebabkan kematian (Nhassico et al., 2008). Oleh karena itu, perlu untuk menghilangkan atau mengurangi kadar sianogen agar daun singkong aman dikonsumsi, yang awalnya dapat mencapai lebih dari 100 ppm (basis basah), menjadi kurang dari 10 ppm yang merupakan batas aman untuk sianogen dalam produk makanan dan obat-obatan (FAO/WHO, 1991).

Penelitian mengenai upaya mengurangi kadar sianida pada daun singkong telah banyak dilakukan. Bradbury dan Denton (2011) melakukan 2 metode penelitian untuk menurunkan kadar

sianida pada daun singkong. Metode pertama yaitu dengan menumbuk daun singkong dengan mortar dan alu, diikuti dengan mencuci daun yang telah ditumbuk menggunakan air pada suhu kamar. Metode kedua adalah merendam daun singkong dengan air pada suhu 50°C. Namun, studi kinetika mengenai kadar sianida pada daun singkong belum pernah dilakukan. Padahal, studi kinetika digunakan oleh produsen bahan baku untuk mengoptimalkan sistem pengolahan, merancang proses, dan mengembangkan sistem kontrol untuk operasi pemrosesan daun singkong. Selanjutnya, pengetahuan tentang perilaku kinetika *leaching* sianida pada daun singkong dengan air dapat digunakan untuk memprediksi mekanisme perpindahan massa (difusi) dan untuk memperkirakan waktu pencucian agar sianida pada daun singkong mencapai kondisi kesetimbangan (Tarade, et al., 2006). Oleh karena itu, penentuan model kinetika perpindahan massa (difusi) sianida pada daun singkong sangat penting aplikasinya pada skala industri.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian dengan air pada rasio volume air terhadap daun singkong, yaitu 10, 30, dan 50 ml/g. Penelitian ini difokuskan pada total sianida pada daun singkong.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian dengan air?
2. Bagaimana kondisi terbaik pada proses pencucian daun singkong untuk menurunkan kadar sianida?

I.3 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini adalah :

1. Daun singkong yang digunakan adalah *Manihot utilissima*.
2. Daun singkong yang digunakan adalah singkong jenis taun (Genderuwo).

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian dengan air.
2. Mempelajari kondisi operasi terbaik pada proses pencucian daun singkong untuk menurunkan kadar sianida.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

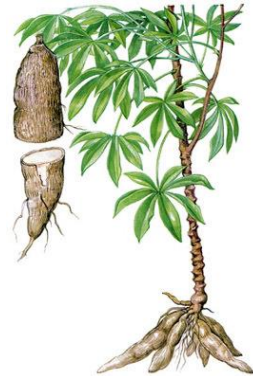
1. Memberikan informasi mengenai kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian dengan air.
2. Memberikan informasi mengenai kondisi terbaik pada proses pencucian daun singkong untuk menurunkan kadar sianida.
3. Sebagai bahan referensi untuk mengembangkan penelitian tentang daun singkong di masa yang akan datang.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Ekologi dan Karakteristik Singkong

Singkong atau cassava (*Manihot utilissima*) pertama kali dikenal di Amerika Selatan yang dikembangkan di Brasil dan Paraguay pada masa pra sejarah. Potensi singkong menjadikannya sebagai bahan makanan pokok penduduk asli Amerika Selatan bagian utara, selatan Mesoamerika, dan Karibia, sebelum Columbus datang ke Benua Amerika. Ketika bangsa Spanyol menaklukkan daerah-daerah tersebut, budidaya tanaman singkong pun dilanjutkan oleh kolonial Portugis dan Spanyol. Singkong dari Brasil kemudian diperkenalkan oleh bangsa Portugis di Indonesia pada abad ke-16. Selanjutnya singkong ditanam secara komersial di wilayah Indonesia sekitar tahun 1810 (Bargumono dan Wongsowijaya, 2012).



Gambar II.1 Tanaman Singkong

Saat ini, singkong sudah menjadi bahan makanan yang merakyat dan tersebar di seluruh pelosok Indonesia. Singkong (*Manihot utilissima*) merupakan salah satu sumber karbohidrat lokal Indonesia yang menduduki urutan ketiga terbesar setelah padi dan jagung. Tanaman ini merupakan salah satu komoditas hasil

pertanian di Indonesia yang dapat tumbuh sepanjang tahun di daerah tropis dan memiliki daya adaptasi yang tinggi dengan kondisi berbagai tanah (Prabawi, 2011).

Singkong merupakan tanaman tropis, tetapi dapat pula beradaptasi dan tumbuh dengan baik di daerah sub-tropis. Tanaman singkong tidak menuntut iklim yang spesifik untuk pertumbuhannya. Secara umum, singkong dapat tumbuh dengan baik pada iklim dengan curah hujan : 1.500-2.500 mm/tahun (Alves, 2002). Sinar matahari yang dibutuhkan bagi tanaman singkong sekitar 10 jam/hari terutama untuk kesuburan daun dan perkembangan umbinya. Tanaman singkong dapat tumbuh pada ketinggian 2000 m dari permukaan air laut atau di sub-tropis dengan suhu rata-rata 16°C. Pada ketinggian tempat sampai 300 m dpl, tanaman singkong dapat menghasilkan umbi dengan baik, akan tetapi tidak menghasilkan bunga. Sedangkan pada ketinggian tempat mencapai 800 m dpl tanaman singkong mampu menghasilkan bunga dan biji. Bahan baku singkong yang didapat dari daerah dataran tinggi akan menghasilkan rendemen yang tinggi dibandingkan singkong dari dataran rendah. Singkong yang ditanam pada daerah yang curah hujannya rendah memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan singkong yang ditanam pada daerah dengan curah hujan yang tinggi.

Singkong tergolong tanaman yang tidak asing lagi bagi sebagian besar masyarakat. Tumbuhan ini berdasarkan klasifikasi ilmiahnya tergolong dalam keluarga besar *Euphorbiaceae* dengan nama latin *Manihot utilissima*. Adapun klasifikasi singkong (*Euphorbiaceae*) sebagai berikut :

- Kingdom : *Plantae*
- Divisi : *Spermatophyta*
- Sub divisi : *Angiospermae*
- Kelas : *Dicotyledoneae*
- Ordo : *Euphorbiales*
- Famili : *Euphorbiaceae*
- Genus : *Manihot*
- Spesies : *Manihot utilissima* (Soelistijono, 2006)

Singkong merupakan jenis tanaman perdu yang dapat hidup sepanjang tahun. Singkong mudah ditanam dan dibudidayakan, dapat ditanam di lahan yang kurang subur, resiko gagal panen 5% dan tidak memiliki banyak hama. Tanaman ini mempunyai umur rata rata 7 hingga 12 bulan. Singkong mempunyai umbi atau akar pohon berdiameter rata-rata 5-10 cm lebih dan panjang 50-80 cm. Daging umbinya ada yang berwarna putih atau kekuning-kuningan (Soemarjo, 1992).

II.2 Produksi

Tanaman singkong berasal dari Amerika Latin tepatnya Brazil. Walaupun bukan merupakan tanaman asli, tanaman yang tumbuh di lebih dari 105 negara ini merupakan tanaman yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Bahkan Indonesia menjadi negara pengekspor singkong dengan produksi yang selalu meningkat tiap tahun dengan laju peningkatan rata –rata sebesar 2,69% pada produksi tahun 2000 hingga 2004. Secara keseluruhan produksi singkong di Indonesia diperkirakan lebih dari 23 juta ton menurut FAO (2015). Dengan demikian, Indonesia menjadi negara terbesar ketiga penghasil singkong di dunia setelah Nigeria dan Thailand. Di Indonesia, singkong menjadi salah satu tanaman yang banyak ditanam hampir di seluruh wilayah dan menjadi sumber karbohidrat utama setelah beras dan jagung. Daerah pusat produksi singkong di Indonesia antara lain terletak di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Yogyakarta, Jawa Timur, NTT, dan Sulawesi Selatan.

Tabel II.1 Data Produksi Singkong di 5 Negara di Dunia

No.	Negara	Produksi (ton)
1.	Nigeria	47.406.770
2.	Thailand	30.227.542
3.	Indonesia	23.936.920
4.	Brazil	21.484.218
5.	Republik Demokratik Kongo	16.500.000

Ketersediaan daun singkong mengacu kepada produksi tanaman singkong. Di Indonesia, penanaman tanaman singkong terbesar terdapat di Provinsi Lampung. Budidaya tanaman singkong di Lampung lebih dominan digunakan sebagai bahan baku industri pangan. Urutan kedua, tanaman singkong banyak dibudidaya di Provinsi Jawa Tengah. Di provinsi ini produk singkong lebih dominan digunakan sebagai pangan sumber karbohidrat di pedesaan.

Produksi daun singkong segar adalah 10-40 ton/ha/tahun atau 2,3 ton berat kering/ha/tahun (Sukria dan Rantan, 2009). Luas area panen tanaman singkong pada tahun 2015 seluas 949.916 ha dengan produktivitas umbi singkong segar sebanyak 229,51 kuintal/ha dan total produksi sebanyak 21.801.415 ton (BPS, 2015).

Tabel II.2 Data Produksi Singkong di Indonesia Tahun 2015

No.	Kota / Kabupaten	Produksi (ton)
1.	Lampung	7.387.084
2.	Jawa Tengah	3.571.594
3.	Jawa Timur	3.161.573
4.	Jawa Barat	2.000.224
5.	Sumatra Utara	1.619.495
6.	Yogyakarta	873.362
7.	NTT	637.315
8.	Sulawesi Selatan	565.958
9.	Sumatra Selatan	217.807
10.	Sumatra Barat	208.386

Sumber : Badan Pusat Statistik (BPS), 2017

II.3 Varietas Singkong

Varietas-varietas singkong unggul yang biasa ditanam penduduk Indonesia, antara lain: Valenca, Mangi, Betawi, Basiorao, Bogor, SPP, Muara, Mentega, Andira 1, Gading, Andira 2, Malang 1, Malang 2, dan Andira 4. Terdapat korelasi antara kadar HCN singkong segar dengan kandungan pati. Semakin tinggi

kadar HCN semakin pahit dan kadar pati meningkat dan sebaliknya. Oleh karena itu, industri tapioka umumnya menggunakan varietas berkadar HCN tinggi (varietas pahit). Berdasarkan kandungan zat racunnya, singkong dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Tidak beracun, yaitu bila kadar HCN kurang dari 50 mg/kg umbi basah kupas.
- b. Setengah beracun, yaitu bila kadar HCN antara 50-100 mg/kg umbi basah kupas.
- c. Sangat beracun, yaitu bila kadar HCN lebih dari 100 mg/kg umbi basah kupas.

Tabel II.3 Kadar HCN pada Beberapa Varietas Singkong

No.	Jenis	Kadar HCN (mg/kg singkong basah)
1.	Valenca	< 50
2.	Mangi	< 50
3.	Adira 1	< 50
4.	Bogor	> 100
5.	SPP	> 100
6.	Muara	> 100
7.	Mentega	< 50

Sumber : Departemen Kesehatan Direktorat Gizi, 1979

Berdasarkan umurnya, singkong dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Berumur pendek.
Singkong yang berumur pendek berarti usia sejak mulai tanam sampai musim panen relatif lebih singkat yakni berumur 5 – 8 bulan. Dalam seusia itu singkong dapat dipanen hasil maksimal. Andaikata panennya ditunda atau diperpanjang dari usia sebenarnya akan timbul masalah yakni umbinya banyak yang berkayu.
- b. Berumur panjang.
Jenis kedua yakni yang berumur panjang antara 12 – 18 bulan. Bila dipanen sebelum usia tersebut, hasilnya mengecerakan karena umbinya kecil-kecil dan kandungan

patinya sedikit. Jadi paling tepat kalau dipanen setelah berumur 12-19 bulan (Lingga, 1986).

II.4 Ciri Morfologi

Ciri atau karakter morfologi dapat digunakan untuk membedakan keragaman genetik di antara varietas (Tribadi, 2010). Karakter morfologi juga berperan penting dalam program pemuliaan tanaman terhadap karakter yang ingin diperoleh pemulia. Prosedur yang mudah, ringkas, dan murah menjadi keunggulan dari karakter morfologi. Bahkan, hingga saat ini ahli taksonomi mengklasifikasikan tumbuhan berdasarkan pada karakter morfologi (Khalid et al., 2010).

Variasi morfologi dapat dideskripsikan dengan mengamati karakter struktur morfologi organ vegetatif, morfologi organ reproduktif, sitologi, fenologi, ekologi, dan geografi. Semakin banyak kesamaan karakter maka hubungan kekerabatannya akan semakin dekat. Khalid et al. (2010) menggunakan karakter morfologi untuk melihat variasi pada marga *Brassica*. Karakter morfologi yang digunakan adalah warna tanaman, warna bunga, dan bentuk daun. Penelitian lain yang dilakukan Hajar (2011) juga menggunakan karakter morfologi bentuk daun untuk mengetahui variasi pada *Hisbiscus rosa-sinensis*.

II.4.1 Akar

Akar merupakan organ penyimpanan pada singkong. Ketika singkong diperbanyak dari biji maka sistem akar tunjang berkembang. Radikula dari biji yang berkecambah tumbuh secara vertikal ke bawah dan berkembang menjadi akar tunjang. Kemudian, akar tunjang dan beberapa akar adventif menjadi akar penyimpanan. Sedangkan, jika singkong diperbanyak melalui stek batang akan muncul akar adventif. Akar adventif berkembang membentuk sistem akar serabut. (Alves, 2002)

Secara anatomi, akar singkong bukan akar umbi, tetapi akar sejati yang tidak bisa digunakan untuk pembanyakan

vegetatif. Akar penyimpanan pada singkong memiliki tiga jaringan yang berbeda, yaitu periderm, korteks, dan parenkim. Ukuran dan bentuk akar tergantung kondisi genotipe dan lingkungan (Alves, 2002)



Gambar II.2 Akar Singkong

II.4.2 Batang

Secara umum singkong berbentuk silinder dan dibentuk oleh nodus dan internodus. Singkong yang tumbuh dari stek batang menghasilkan batang primer sebanyak tunas yang terdapat pada batang yang distek. Beberapa singkong memiliki percabangan simpodial. Batang utama dapat terbagi dua, tiga atau empat bagian. Bagian – bagian tersebut menghasilkan cabang lainnya. Percabangan tersebut terjadi karena induksi perbungaan (Alves, 2002).



Gambar II.3 Batang Singkong

II.4.3 Daun

Daun singkong termasuk daun yang tidak lengkap (*incompletes*) karena hanya terdiri dari atas lamina dan tangkai daun. Daunnya memiliki petulangan daun menjari dan terdiri atas 3-0 lobus dan memiliki filotaksis 2/5. Letak daun yang dekat dengan perbungaan biasanya berukuran lebih kecil dan hanya terdiri atas 3 lobus (Alves, 2002).

Permukaan atas daun dilapisi kutikula yang mengkilap. Stomata terdapat pada bagian bawah (abaksial) daun dan memiliki bentuk parasitik. Tiap daun yang sudah dewasa akan dikelilingi dua stipula dengan panjang kira-kira 0,5 - 1 cm panjang petioles dan biasanya bervariasi antara 5 - 30 cm (Alves, 2002).



Gambar II.4 Daun Singkong

Pada umumnya daun singkong merupakan limbah dari sistem produksi pertanian singkong. Ketersediaan daun singkong terus meningkat dengan semakin meluasnya areal penanaman dan produktivitas tanaman singkong. Hampir 10 - 40% dari tanaman singkong terdiri atas daun.

Sayuran berbahan dasar daun singkong cukup banyak dikonsumsi di daerah dimana daun singkong dibudidayakan. Konsumsi daun singkong tidak sepopuler konsumsi akar singkong (Shigaki, 2016). Daun singkong mengandung protein, mineral dan vitamin dengan jumlah yang cukup disertai dengan bahan-bahan lain yang tidak terdapat pada akar singkong (Oresegun et al., 2016).

Berdasarkan preferensi konsumen, daun singkong dikonsumsi di berbagai daerah sebagai berikut :

Tabel II.4 Preferensi Konsumen Daun Singkong di Berbagai Daerah

Negara	Tingkat Konsumsi	Hidangan	Referensi
Indonesia	Dimakan sebagai sayuran	Sayur Daun Singkong Pedas, Tumis Daun Singkong, Rolade Daun Singkong, Tim Peda Daun Singkong	(Ngudi et al., 2003b) (Wargiono, et al., 2007)
Malaysia	Salah satu sayuran tradisional	Masak lemak pucuk ubi	(Arnieyantie et al., 2012)
Philippines	Digunakan secara luas sebagai sayuran	Ginatang cassava leaves	(Ngudi et al., 2003b)
Kenya	Dicampur dengan sayuran lain (Bubuk Kari dan krim)	Prefried	(Shigaki,2016)
Tanzania	Dimakan sebagai sayuran	Kisanby, Kisamvu	(Gidamis, 1993)

Daun singkong merupakan sumber protein yang baik. Selain protein, daun singkong juga mengandung vitamin A, C, serta mineral yang baik untuk dikonsumsi oleh ibu hamil karena dapat meningkatkan produksi ASI di Sierra Leone dan Liberia

(Aregheore, 2012). Untuk melawan malnutrisi di Brazil, sebuah suplemen makanan (*multimistura*) diformulasikan dengan menggunakan daun singkong dalam bentuk bubuk sebagai salah satu bahannya dibuat untuk ibu hamil serta anak-anak (Camara and Madruga, 2001). Di Sierra Leone, hidangan berbahan dasar daun singkong pada umumnya dibuat dengan ikan, kacang-kacangan dan bawang yang dapat memenuhi kebutuhan protein harian apabila dikonsumsi sebanyak 150 g per hari untuk orang dewasa atau 75 g untuk anak-anak (Lancaster and Brooks, 1983). Hal-hal tersebut membuat daun singkong cukup terkenal di daerah tropis, khususnya di Indonesia sebagai salah satu sayuran untuk memenuhi kebutuhan protein, mineral, dan vitamin. Daun singkong memiliki beberapa kelebihan yakni sebagai berikut (Wargiono et al., 2002).

1. Daun singkong dapat dipanen setelah 4 hingga 5 bulan ditanam. Relatif lebih cepat dibandingkan dengan akarnya yang memerlukan 10 hingga 12 bulan untuk dipanen. Proses panen daun singkong tidak memberikan efek yang merugikan untuk akarnya.
2. Untuk memenuhi kebutuhan protein serta zat besi pada diet, direkomendasikan untuk mengkonsumsi singkong sebanyak 75 hingga 100 g daun singkong per kapita per hari.
3. Tanaman singkong dapat tumbuh di area kecil untuk kebutuhan harian.
4. Daun singkong dapat dimanfaatkan secara komersial untuk menambah penghasilan petani.

II.4.4 Bunga

Singkong menghasilkan bunga jantan (stamen) dan betina (pistil) dalam satu mohon (monoecious). Bunga isngkong tidak memiliki struktur calyx atau corolla tetapi ada struktur yang disebut perianth atau perigonium. Ukuran bunga jantan setengah dari ukuran bunga betina. Pedicelus Bungan jantan tipis, lurus dan pendek, sedangkan pedicelus bunga betina tebal, melengkung, dan

panjang. Bunga singkong mengalami protogini dimana bunga betina pada perbungan yang sama dengan bunga jantan membuka 1-2 minggu lebih cepat (Alves, 2002).



Gambar II.5 Bunga Singkong

II.5 Kandungan Nutrisi Daun Singkong

Kandungan nutrisi pada daun singkong bergantung dari berbagai faktor. Faktor – faktor tersebut antara lain lokasi geografis, jenis, umur tanaman, kondisi lingkungan serta ukuran daun (Gil and Buitrago, 2002).

- **Komposisi Proksimat**

Daun singkong memiliki nutrisi yang sangat tinggi salah satunya adalah protein dengan berat kering sebesar 16.6% hingga 39.9% (Khieu et al., 2005). Daun singkong merupakan sumber protein yang sangat baik, kadar protein didasarkan pada jenis, kondisi pertumbuhan juga berdasarkan pupuk yang digunakan (Wanapat, 1995). Selain itu, daun singkong memiliki kadar lemak yang rendah yakni sebesar 0.6%, namun kaya akan pati yakni sebesar 9 % dengan kadar abu sebesar 6.7% (Frochlich et al., 2001). Kandungan karbohidrat di daun singkong (7 hingga 18 g/100 g) dibandingkan dengan kacang hijau (7.1 g/100 g), wortel (9.6 g/100 g) atau kedelai hijau (11.1 g/100 g) dan lebih tinggi daripada sayuran seperti daun selada (2.8 g/100 g) dan bayam New Zealand (2.5 g/100 g), karbohidrat didalam daun singkong sebagian besar merupakan pati dengan kandungan amilase yang bervariasi yakni dari 19% hingga 24% (Gil and Buitrago, 2002).

Kandungan serat pada daun singkong lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan serat pada kacang polong dan daun kacang polong yakni sekitar (1 - 10 g / 100 g) berat bersih (Bradbury and Holloway, 1988). Serat makanan dianggap sebagian salah satu bagian dari diet sehat yang dapat mengurangi masalah konstipasi dan dapat membantu mencegah kanker kolon (Rock, 2007). Namun apabila kandungan serat dari sumber manapun terlalu tinggi, maka akan memberikan efek negatif bagi manusia. Hal ini dikarenakan serat dapat mengurangi penyerapan nutrient pada tubuh. (Baer et al., 1996). Kelebihan serat akan meningkatkan nitrogen pada feses, menyebabkan iritasi pada usus dan menurunkan daya cerna gizi, khususnya daya cerna protein (Montagnacet al., 2009a).

Tabel II.5 Komposisi Proksimat Daun Singkong (g per 100g berat kering)

Komponen	Unit	Daun Singkong
Food energy ^b	kJ	251
Protein	g	23.5
Air	g	90.0
Abu	g	16.1
Karbohidrat ^b	g	18.3
Pati	g	7.3
Serat Kasar	g	16.4
Lemak ^b	g	2.9

Sumber: ^aMontagnacet al, (2009a); ^bBradbury and Holloway, (1988)

- **Komposisi Asam Amino**

Total asam amino esensial pada daun singkong memiliki nilai yang sama dengan yang terkandung dalam telur ayam (Oguntimein, 1988). Namun, asam amino essential tersebut masih dalam jumlah yang rendah, kecuali pada arginin, asam glutamat dan asam aspartat (Gil and Buitrago, 2002). Tabel II.6 menunjukkan kekurangan pada methionin, serta kelebihan pada

lisin, dan kandungan isoleucine yang rendah pada singkong jika dibandingkan dengan telur. Selain itu, kandungan asam amino essential pada daun singkong lebih tinggi dibandingkan pada bayam, kedelai, gandum, beras dan referensi asupan protein berdasarkan FAO (FAO, 1991). Variasi pada asam amino dapat disebabkan oleh metode analisa, porsi dari sampel, tingkat kematangan daun, kultivar, dan kondisi lingkungan (Ravindran, 1993). Sedangkan variasi yang tidak signifikan pada profil asam amino didapatkan pada kultivar yang tumbuh pada kondisi yang sama (Castellanos et al., 1994). Semakin matang daun, maka kandungan asam amino akan semakin menurun. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan yang cukup banyak pada lisin, sedangkan glutamat prolin dan glisin naik serta fenilalanin tidak terpengaruh (Ravindran, 1988).

Tabel II.6 Komposisi Asam Amino pada Daun Singkong (g / 100 g protein)

Asam Amino	(Castellanos et al., 1994)		(FAQ, 1991)
	PCU	PCT	
Histidine	2.4	2.7	1.9
Threonine	4.2	3.6	3.4
Tyrosine	7.2	8.3	-
Phenylalanine	4.8	4.1	-
AAA	12.0	12.4	6.3
Valine	5.0	4.1	3.5
Methionine	1.2	3.5	-
SAA	1.8	3.9	2.5
Isoleucine	3.9	4.2	2.8
Leucine	-	-	6.6
Tryptophan	0.7	0.6	1.1
Lysine	5.1	4.9	5.8

Keterangan :

PCU : Konsentrasi protein pada daun singkong dengan ultrafiltrasi

PCT : Konsentrasi protein pada daun singkong dengan *acidic thermocoagulation*

AAA : *Aromatic Amino Acids* (phenylalanine + tyrosine)

SAA : *Sulphur Amino Acids* (methionine + cysteine)

II.6 Faktor Anti-Nutrisi pada Daun Singkong

Faktor anti-nutrisi adalah zat yang mengganggu pencernaan dan penyerapan nutrisi, serta dapat menimbulkan efek toksik tergantung pada jumlah serta metode pengolahannya (Montagnac et al., 2009b). Faktor anti-nutrisi seperti tanin, polifenol dan asam fitat yang mengurangi bioavailabilitas nutrisi merupakan faktor utama yang membatasi konsumsi daun singkong (Latif dan Muller, 2015). Faktanya, pada kadar yang rendah senyawa tersebut dapat berperan sebagai antioksidan yang bermanfaat bagi manusia (Wobeto et al., 2007).

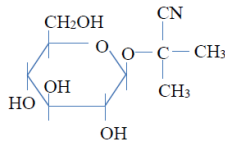
Tingkat anti-nutrisi bervariasi tergantung pada tahap kematangan, kultivar singkong dan kondisi iklim seperti kekeringan dapat meningkatkan potensi sianogenik dan status hara tanah. Menurut Wobeto et al. (2007), tanaman berumur 12 bulan memiliki kandungan anti-nutrisi (oksalat, sianida, polifenol dan tanin) yang lebih rendah. Sehingga dengan demikian tanaman singkong berumur 12 bulan dianggap paling cocok untuk diolah dan di konsumsi manusia. Berikut merupakan kandungan anti-nutrisi dengan berbagai tingkat kematangan pada daun singkong.

Tabel II.7 Anti-Nutrisi pada Daun Singkong (basis kering)

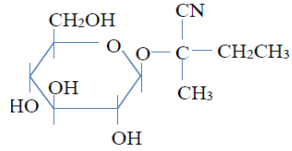
Komponen	12 Bulan	15 Bulan	17 Bulan
Asam hidrosianat (mg/100g)	162.0	133.6	127.8
Tanin (g tannic acid/100g)	1.9	2.6	2.8
Polifenol (g/100g)	6.2	5.2	9.2
Oksalat (g/100g)	2.5	2.2	2.9
Nitrat (mg/100g)	74.7	-	-

Sumber : (Wobeto et al., 2007)

Glukosida sianogen adalah faktor anti-nutrisi utama pada daun singkong, semua jaringan tanaman singkong mengandung sianogenik glukosida (daun, batang, akar dan kulit) (Vetter, 2000). Namun, kadar glukosida sianogenik sangat beragam di antara jaringan, daun memiliki kandungan sianogenik glukosida yang lebih tinggi dari pada akar. Menurut Bokanga (1994), daun singkong memiliki potensi sianogenik 5 sampai 20 kali lebih tinggi dari pada akar. Potensi sianogenik daun singkong menurun seiring bertambahnya umur daun. Daun muda mengandung kadar tertinggi, sedangkan daun dewasa dan tua memiliki konsentrasi 50% dan 70% lebih rendah, (Nambisan dan Sundaresan, 1994). Sianogen bertindak sebagai senyawa pertahanan untuk melawan herbivora dan cacing yang menyerang tanaman singkong (Heldt dan Piechulla, 2011). Sianogen ditemukan dalam tiga bentuk pada singkong, glukosida sianogenik (95% linamarin dan 5% lotaustralin), sianohidrin dan sianida bebas (Montagnac et al., 2009b). Struktur kimia glukosida sianogenik ditunjukkan pada Gambar II.6.



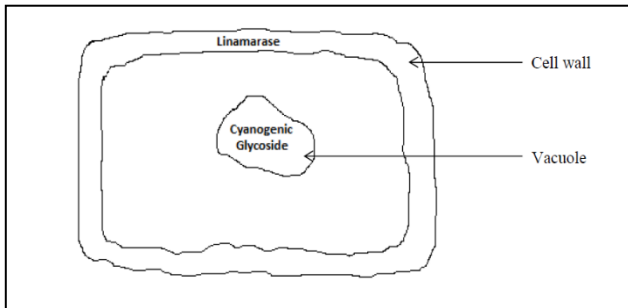
Linamarin



Lotaustrali

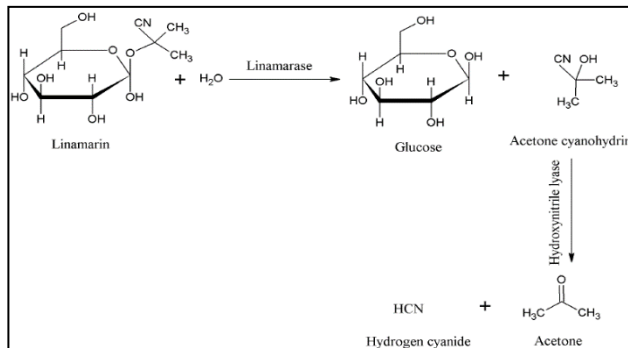
Gambar II.6 Struktur Kimia Glukosida Sianogenik

Daun singkong juga mengandung enzim linamarase dan hydroxynitrile lyase, yang dapat menghidrolisis glukosida sianogenik (Santana et al., 2002). Namun, enzim tersebut tidak berada di sel yang sama seperti glukosida sianogenik. Glukosida sianogenik terletak di dalam vakuola dan enzim linamarase terletak di dinding sel jaringan pada daun singkong (Conn, 1994).



Gambar II.7 Lokasi Glukosida Sianogenik dan Enzim Linamarase

Saat glukosida sianogenik terlepas dari vakuola dan bersentuhan dengan enzim linamarase, enzim tersebut mengkatalisis hidrolisis glukosa linamarin dan sianohidrin sementara hydroxynitrile lyase mengkatalisis hidrolisis sianohidrin menjadi hidrogen sianida (HCN) dan aseton (Nambisan, 2011). Sianohidrin ini juga dapat terurai secara spontan karena ketidakstabilannya pada pH di atas 5 dan suhu di atas 30°C (White et al., 1994). Seperti ditunjukkan pada Gambar II.8.



Gambar II.8 Proses Pemecahan Linamarin

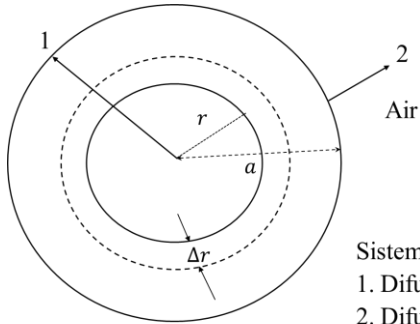
II.7 Difusi

Difusi adalah peristiwa mengalirnya atau berpindahkannya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah. Perbedaan konsentrasi yang ada pada dua larutan disebut gradien konsentrasi. Proses difusi minimal melibatkan dua zat, salah satu zat berkonsentrasi lebih tinggi dari pada zat lainnya. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan di mana perpindahan molekul tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi.

Hukum Fick

Hukum kedua Fick menyatakan bahwa difusi atom pada kedalaman tertentu merupakan fungsi waktu. Pada penelitian penurunan kadar HCN di dalam daun singkong ini, proses difusi yang terjadi adalah pada HCN di dalam daun singkong menuju air. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daun singkong di sini adalah sebagai sistem.

HCN pada daun singkong → air



Sistem : Daun Singkong
 1. Difusi Internal
 2. Difusi Eksternal

Gambar II.9 Mekanisme Perpindahan Massa pada Ekstraksi Daun Singkong

Model matematika untuk merepresentasikan perpindahan massa internal ekstraksi sianida daun singkong pada penelitian ini mengikuti persamaan menurut hukum Fick sebagai berikut :

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial r} + \frac{C_A}{C} (N_A + N_B) \quad (1)$$

di mana :

N_A = fluks massa HCN (banyaknya HCN yang berpindah setiap satuan waktu dan setiap satuan luas transfer)

N_B = fluks massa air = 0 (karena air tidak berdifusi)

D_{AB} = koefisien difusi dari daun ke air

Oleh karena kadar HCN yang sangat kecil, maka persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial r} \quad (2)$$

Sistem : Daun Singkong

Neraca massa HCN :

$$\text{Acc} = \text{in} - \text{out} + \text{generasi} - \text{reaksi}$$

$$\frac{\partial m_A}{\partial t} = N_A|_r A - N_A|_{r+\Delta r} A + 0 - 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial m_A}{\partial t} = N_A|_r 4\pi r^2 - N_A|_{r+\Delta r} 4\pi (r + \Delta r)^2 \quad (4)$$

$$\frac{\partial(C_A V)}{\partial t} = N_A|_r 4\pi r^2 - N_A|_{r+\Delta r} 4\pi(r + \Delta r)^2 \quad (5)$$

$$V \frac{\partial C_A}{\partial t} = N_A|_r 4\pi r^2 - N_A|_{r+\Delta r} 4\pi(r + \Delta r)^2 \quad (6)$$

$$4\pi r^2 \cdot \Delta r \frac{\partial C_A}{\partial t} = N_A|_r 4\pi r^2 - N_A|_{r+\Delta r} 4\pi(r + \Delta r)^2 \quad (7)$$

$$r^2 \frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{-(N_A|_{r+\Delta r} (r+\Delta r)^2 - N_A|_r r^2)}{\Delta r} \quad (8)$$

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} r^2 \frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{-(N_A|_{r+\Delta r} (r+\Delta r)^2 - N_A|_r r^2)}{\Delta r} \quad (9)$$

$$r^2 \frac{\partial C_A}{\partial t} = - \frac{d(N_A r^2)}{dr} \quad (10)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2) maka

$$r^2 \frac{\partial C_A}{\partial t} = - \frac{d}{dr} \left(-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial r} r^2 \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial r} r^2 \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial C_A}{\partial r} r^2 \right) \quad (13)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \frac{1}{r^2} \left(2r \frac{\partial C_A}{\partial r} + r^2 \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} \right) \quad (14)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \left(\frac{2}{r} \frac{\partial C_A}{\partial r} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} \right) \quad (15)$$

maka persamaan difusi untuk bola adalah

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (16)$$

(Bird et al., 2002)

II.7.1 Difusi pada Bola

Jika kita membatasi pada kasus di mana difusi itu radial, bentuk persamaan difusi untuk konstanta koefisien difusi adalah sesuai dengan persamaan (16) sebagai berikut :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right)$$

dengan menetapkan

$$u = Cr \tag{17}$$

persamaannya

menjadi

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \tag{18}$$

karena ini adalah persamaan untuk aliran linear dalam satu dimensi, maka permasalahan aliran radial pada bola dapat diselesaikan berdasarkan persamaan tersebut.

II.7.1.1 Non-Steady State

Konsentrasi permukaan konstan : initial distribution

$f(r)$

Jika kita mensubstitusi $u = Cr$, persamaan untuk u adalah sesuai dengan persamaan (18) sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial r^2}$$

$$u = 0, r = 0, t > 0 \tag{19}$$

$$u = aC_0, r = a, t > 0 \tag{20}$$

$$u = rf(r), t = 0, 0 < r < a \tag{21}$$

di mana C_0 adalah konsentrasi pada permukaan bola. Ini adalah persamaan difusi dalam lembaran bidang ketebalan a , dengan

ujungnya, $r = 0$ dan $r = a$, disimpan pada nol dan aC_0 masing-masing, dan dengan distribusi awal $rf(r)$. Jika bola awalnya pada konsentrasi seragam C_1 dan konsentrasi permukaan dipertahankan konstan pada C_0 , penyelesaiannya menjadi

$$\frac{C-C_1}{C_0-C_1} = 1 + \frac{2a}{\pi r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{n\pi r}{a} \exp(-Dn^2\pi^2 t/a^2) \quad (22)$$

konsentrasi di pusat adalah limit $r \rightarrow 0$, maka

$$\frac{C-C_1}{C_0-C_1} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-Dn^2\pi^2 t/a^2) \quad (23)$$

jumlah total substansi terdifusi yang masuk atau keluar dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{M_t}{M_{\infty}} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-Dn^2\pi^2 t/a^2) \quad (24)$$

penyelesaian yang sesuai untuk periode kecil adalah

$$\frac{C-C_1}{C_0-C_1} = \frac{a}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \operatorname{erfc} \frac{(2n+1)a-r}{2\sqrt{(Dt)}} - \operatorname{erfc} \frac{(2n+1)a+r}{2\sqrt{(Dt)}} \right\} \quad (25)$$

dan

$$\frac{M_t}{M_{\infty}} = 6 \left(\frac{Dt}{a^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \pi^{-\frac{1}{2}} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{ierfc} \frac{na}{\sqrt{(Dt)}} \right\} - 3 \frac{Dt}{a^2} \quad (26)$$

II.7.1.2 Difusi pada Daun Singkong

Dalam penelitian ini, daun singkong dihaluskan dengan cara ditumbuk hingga partikelnya berukuran sangat kecil, sehingga dapat diasumsikan bahwa difusi yang terjadi merupakan difusi pada bidang berbentuk bola. Berdasarkan Crank (1975), jumlah

total substansi terdifusi yang masuk atau keluar dari bola dapat dinyatakan sesuai persamaan (24) sebagai berikut :

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2t}{a^2}\right)$$

di mana :

M_t = jumlah total sianida yang terdifusi pada waktu tertentu
 M_∞ = jumlah total sianida yang terdifusi pada saat setimbang (konstan)

Apabila konsentrasi sianida dinyatakan dalam X, maka untuk mendapatkan nilai total sianida, konsentrasi dikalikan dengan volume (V). Dengan demikian, total sianida yang terdifusi pada waktu tertentu dapat dihitung dari total sianida awal dikurangi dengan total sianida pada waktu tertentu. Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$M_t = X_0V - X_tV \quad (27)$$

Sedangkan total sianida yang terdifusi pada saat konstan dapat dihitung dari total sianida awal dikurangi dengan total sianida pada saat konstan. Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$M_\infty = X_0V - X_eV \quad (28)$$

di mana :

X_0 = konsentrasi awal sianida
 X_t = konsentrasi sianida pada waktu tertentu
 X_e = konsentrasi sianida pada keadaan setimbang

maka

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \frac{X_0V - X_tV}{X_0V - X_eV} \quad (29)$$

karena V konstan, maka

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \frac{V(X_0 - X_t)}{V(X_0 - X_e)} \quad (30)$$

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \frac{X_0 - X_t}{X_0 - X_e} \quad (31)$$

apabila masing-masing ruas dikurangi oleh 1, maka

$$1 - \frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{X_0 - X_t}{X_0 - X_e} \quad (32)$$

$$1 - \frac{M_t}{M_\infty} = \frac{X_0 - X_e - X_0 + X_t}{X_0 - X_e} \quad (33)$$

$$1 - \frac{M_t}{M_\infty} = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (34)$$

apabila diasumsikan bahwa M_t/M_∞ adalah substansi terdifusi yang keluar dari daun, maka yang tersisa di daun dapat dinyatakan sebagai

$$SR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (35)$$

di mana SR adalah Sianida Rasio yang terdapat pada daun singkong. Sehingga bila disubstitusikan ke persamaan (24), persamaannya menjadi

$$SR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2t}{a^2}\right) \quad (36)$$

(Crank, 1975)

II.8 Model Matematika

Dalam penelitian ini, peristiwa penurunan kadar sianida pada proses pencucian daun singkong dapat dimodelkan berdasarkan hukum kedua Fick tentang difusi, yang dinyatakan dalam persamaan model Crank. Selain itu, peristiwa *leaching*

sianida dalam penelitian ini serupa dengan peristiwa *drying*, sehingga dapat dilakukan pendekatan perhitungan hasil eksperimen dengan beberapa model empiris, antara lain model Page dan Modified Henderson-Pabis, yang merupakan *thin layer drying model* (Quispe-Fuentes et al., 2012).

Persamaan *thin layer* digunakan untuk mengestimasi lama pengeringan dari beberapa produk dan untuk menggeneralisasi kurva pengeringan. Selain itu, persamaan *thin layer drying curve* digunakan untuk memperkirakan *drying behaviour* dari produk-produk yang berbeda tergantung pada *pretreatment* produk, parameter, serta metode yang digunakan. Dalam hal ini, terdapat kompleksitas baik pada metode pengeringan maupun kriteria evaluasi seperti nama, persamaan, dan nomenklatur. Oleh karena itu, standarisasi merupakan suatu hal yang penting untuk persamaan *thin layer drying curve* dan kriteria evaluasi. Beberapa model tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

Tabel II.8 *Thin Layer Drying Model*

Nama Model	Persamaan Model	Referensi
Page	$SR = \exp(-k_3 t^{n_2})$	Gögüs and Maskan (1999)
Modified Page	$SR = \exp(-(k_4 t)^{n_3})$	Toğrul and Pehlivan (2003)
Logarithmic	$SR = C + n_5 \cdot \exp(-k_6 t)$	Akpınar (2006)
Two-Term	$SR = n_6 \cdot \exp(-k_7 t) + n_7 \cdot \exp(-k_8 t)$	Lahsasni et al. (2004)
Modified Henderson-Pabis	$SR = n_8 \cdot \exp(-k_9 t) + n_9 \cdot \exp(-k_{10} t) + n_{10} \cdot \exp(-k_{11} t)$	Sacilik and Elicin (2006)
Midilli-Kuşuk	$SR = n_{11} \cdot \exp(-k_{12} t^{n_{12}}) + Ct$	Vega-Gálvez et al. (2011)
Weibull	$SR = \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right)$	Corzo et al. (2008)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Bahan dan Alat Penelitian

III.1.1 Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah daun singkong jenis taun (Genderuwo). Daun singkong ini termasuk jenis *bitter cassava*, yang kandungan sianidanya lebih dari 100 ppm. Daun singkong ini berbentuk menjari dan berukuran lebih besar dibandingkan daun singkong jenis *sweet cassava*.

III.1.2 Alat Penelitian

1. Mortar dan alu
2. Timbangan
3. Gelas arloji
4. Beaker glass
5. Pipet volume
6. Erlenmeyer
7. Buret
8. Statif
9. Kertas karbon hitam
10. Kertas saring
11. Penyaring
12. Gelas ukur
13. Kantong sampel
14. Pisau
15. Spektrofotometer
16. Labu *Kjeldahl*
17. Labu titrasi

III.2 Variabel Penelitian

Variabel - variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel respon, yaitu variabel yang menjadikan titik pusat penelitian. Variabel respon dalam penelitian ini adalah Grafik Kadar HCN, Grafik Sianida Rasio, dan Grafik Koefisien Difusi HCN.
2. Variabel bebas, yaitu variabel yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel respon. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah rasio volume air terhadap massa daun singkong dan waktu (lama) pencucian. Variabel rasio yang digunakan, yaitu 10, 30, dan 50 ml/g. Sedangkan, variabel waktu yang digunakan, yaitu 1, 5, 10, 15, dan 20 jam.
3. Variabel kontrol, yaitu variabel yang dijaga atau dikendalikan agar selalu konstan. Variabel ini meliputi jumlah daun singkong, yaitu sebanyak 100 g dan kondisi operasi, yaitu pada suhu kamar dan tekanan atmosfer.

III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Persiapan Bahan dan Analisa Kadar HCN Awal

Pertama, memilih daun singkong yang masih segar sehingga kandungannya masih dalam kondisi yang baik. Kemudian mengambil daun singkong sebanyak 100 g untuk dilakukan analisa kadar HCN awal pada daun singkong.

III.3.2 Proses Pencucian

Pada proses pencucian ini diawali dengan memisahkan daun singkong dari tangkainya, kemudian menghancurkan daun singkong menggunakan mortar dan alu. Selanjutnya, mencuci daun singkong yang telah hancur dengan merendamnya menggunakan air pencuci dengan variasi rasio volume air terhadap massa daun singkong, yaitu 10, 30, dan 50 ml/g di dalam beaker glass. Pada

masing-masing variabel rasio dilakukan pencucian dengan variasi waktu (lama) pencucian, yaitu pada waktu 1, 5, 10, 15, dan 20 jam.

Setelah itu, menyaring daun singkong untuk memisahkan daun singkong dengan air pencuci. Kemudian menyimpan daun singkong pada kantong sampel untuk selanjutnya dilakukan analisa kadar HCN akhir pada daun singkong yang telah diproses. Proses ini diulangi untuk masing-masing variabel dengan mengganti air pencuci.

III.4 Analisa Kadar HCN (SNI 2011)

Kadar asam sianida dari daun singkong ditentukan dengan metode titrasi. Secara singkat, daun singkong ditimbang sebanyak 20 g dan dipindahkan ke dalam labu *Kjeldahl* yang berisi 100 ml aquadest. Setelah itu, labu diaduk untuk mencampur isinya secara menyeluruh dan dilakukan perendaman selama 2 jam.

Setelah itu, dilakukan proses distilasi. Distilat yang terbentuk ditampung dalam erlenmeyer yang berisi 20 ml NaOH 2,5%. Setelah distilat mencapai 150 ml, ditambahkan 8 ml NH₄OH dan 5 ml KI 5%. Larutan tersebut kemudian dititrasi dengan 0,02 N AgNO₃ sampai terjadi kekeruhan (untuk mengetahuinya, letakkan kertas karbon hitam di bawah erlenmeyer). Sebuah larutan blanko juga dijalankan melalui semua langkah di atas. Kandungan asam sianida (HCN) dihitung dari jumlah AgNO₃ yang digunakan untuk titrasi.

$$\text{HCN (mg/kg)} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 27}{V_3 \times W}$$

di mana

V₁ : volume blanko (ml)

V₂ : volume titran (ml)

V₃ : volume distilat (ml)

N : normalitas AgNO₃ (N)

W : berat sampel (g)

27 : berat molekul HCN (g/gmol)

III.5 Studi Kinetika

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisa HCN pada daun singkong, maka didapatkan kandungan HCN pada daun singkong dalam satuan ppm yang selanjutnya dipelajari kinetiknya.

III.5.1 Data Eksperimen

Semua persamaan yang diterapkan dalam penelitian ini untuk pemodelan kinetika *leaching* sianida pada daun singkong menggunakan sianida rasio (SR) sebagai variabel dependen (Persamaan 1), berhubungan dengan gradien kandungan sianida sampel pada waktu tertentu dengan konsentrasi sianida pada saat awal dan konsentrasi sianida pada saat setimbang.

SR merupakan konsentrasi tak berdimensi yang digunakan untuk mempelajari kinetika *leaching*, dengan asumsi mekanisme difusi di dalam padatan dan transfer massa eksternal yang diabaikan dalam kondisi pengadukan intensif.

$$SR = \frac{X_{st} - X_{se}}{X_{so} - X_{se}} \quad (1)$$

di mana :

SR = Sianida Rasio

X_{st} = Konsentrasi sianida pada waktu tertentu

X_{so} = Konsentrasi sianida pada saat awal

X_{se} = Konsentrasi sianida pada saat kondisi setimbang (konstan)

Perhitungan SR eksperimen dilakukan untuk data pada rasio 10, 30, dan 50 ml/g dengan waktu 1, 5, 10, 15, dan 20 jam. Sehingga didapatkan nilai SR dari data eksperimen.

III.5.2 Model Crank

Dalam eksperimen kali ini, persamaan terpadu hukum kedua Fick mengenai difusi digunakan untuk periode waktu, serta geometri bola dalam satu dimensi, yang diwakili dalam buku *The Mathematics of Diffusion* oleh J. Crank (Persamaan 2), di mana

koefisien difusi sianida juga diperoleh untuk setiap rasio volume air terhadap massa daun singkong.

$$SR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-\frac{D_{se} n^2 \pi^2}{r^2} t} \quad (2)$$

III.5.2.1 Metode Regresi Linear

Pada metode regresi linear ini, perhitungan SR model dilakukan dengan menentukan $n = 1$, sehingga persamaannya menjadi :

$$SR = \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t} \quad (3)$$

$$\frac{\pi^2}{6} SR = e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t} \quad (4)$$

persamaan (4) dilinearkan, sehingga

$$\ln\left(\frac{\pi^2}{6} SR\right) = -\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t \quad (5)$$

Plot Persamaan (5) ke dalam Grafik

$$\ln\left(\frac{\pi^2}{6} SR\right) = -\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t$$

$$y = mx$$

dari grafik tersebut, didapatkan nilai $-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$ atau nilai slope untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g.

III.5.2.2 Metode Regresi Non Linear

Perhitungan SR model dilakukan dengan menentukan $n = 1, 2, 3, 4, \text{ dan } 5$. Sehingga akan terbentuk persamaan polinomial.

Least square adalah metode untuk menentukan fungsi pendekatan polinomial yang paling mendekati.

Ide dasar *least square* adalah :

$$R_i = \text{Residual} = SR_{i \text{ model}} - SR_{i \text{ eksperimen}} \quad (6)$$

$$S = \sum R_i^2 = \text{minimum} \quad (7)$$

karena keadaan minimum, maka didapatkan :

$$\frac{dS}{d\alpha} = 0 \quad (8)$$

di mana α adalah $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$.

Kemudian hal ini dijadikan dasar untuk mendapatkan persamaan simultan yang bisa digunakan untuk mencari parameter dari fungsi polinomial.

Dengan menentukan $n = 1, 2, 3, 4, 5$, maka persamaan (8) menjadi :

$n = 1$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 &= 0 \\ 2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} \cdot (-t_i) \right] \right\} &= 0 \end{aligned}$$

$n = 2$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 &= 0 \\ 2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \\ \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{(-4\alpha t_i)} \cdot (-4t_i) \right] \right\} &= 0 \end{aligned}$$

$n = 3$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} \right] - SR_{eksperimen\ i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} \right] - SR_{eksperimen\ i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} \cdot (-4t_i) + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} \cdot (-9t_i) \right] \right\} = 0$$

$n = 4$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} + \frac{1}{16} e^{-16\alpha t_i} \right] - SR_{eksperimen\ i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} + \frac{1}{16} e^{-16\alpha t_i} \right] - SR_{eksperimen\ i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} \cdot (-4t_i) + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} \cdot (-9t_i) + \frac{1}{16} e^{-16\alpha t_i} \cdot (-16t_i) \right] \right\} = 0$$

$n = 5$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} + \frac{1}{16} e^{-16\alpha t_i} + \frac{1}{25} e^{-25\alpha t_i} \right] - SR_{eksperimen\ i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} + \frac{1}{16} e^{-16\alpha t_i} + \frac{1}{25} e^{-25\alpha t_i} \right] - SR_{eksperimen\ i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\alpha t_i} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{-4\alpha t_i} \cdot (-4t_i) + \frac{1}{9} e^{-9\alpha t_i} \cdot (-9t_i) + \frac{1}{16} e^{-16\alpha t_i} \cdot (-16t_i) + \frac{1}{25} e^{-25\alpha t_i} \cdot (-25t_i) \right] \right\} = 0$$

III.5.2.3 SR Model dan D_{se}

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Regresi Linear maupun Regresi Non Linear, didapatkan nilai $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$. Sehingga dapat dilakukan perhitungan SR model Crank menggunakan persamaan (2). Perhitungan SR model dilakukan pada rasio 10, 30, dan 50 ml/g dengan waktu 1 sampai 20 jam, sehingga didapatkan nilai SR model Crank. Selain itu, berdasarkan data tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan estimasi D_{se} untuk masing-masing rasio, di mana D_{se} adalah koefisien difusi sianida efektif.

III.6 Model Empiris

Dalam eksperimen ini, SR eksperimen yang didapatkan dari perhitungan kemudian dibandingkan dengan model empiris. Hal ini bertujuan untuk mengetahui model kinetika yang paling mendekati hasil eksperimen. Berikut ini adalah model empiris yang digunakan dalam penelitian ini :

Tabel III. 1 Model Matematika yang Dipilih untuk Mengetahui Kinetika *Leaching* Sianida

Nama Model	Persamaan Model	Referensi
Page	$SR = \exp(-k_3 t^{n_2})$	Göğus and Maskan (1999)
Modified Page	$SR = \exp(-(k_4 t)^{n_3})$	Toğrul and Pehlivan (2003)
Logarithmic	$SR = C + n_5 \cdot \exp(-k_6 t)$	Akpınar (2006)
Two-Term	$SR = n_6 \cdot \exp(-k_7 t) + n_7 \cdot \exp(-k_8 t)$	Lahsasni et al. (2004)
Modified Henderson-Pabis	$SR = n_8 \cdot \exp(-k_9 t) + n_9 \cdot \exp(-k_{10} t) + n_{10} \cdot \exp(-k_{11} t)$	Sacilik and Elicin (2006)
Midilli–Kuçuk	$SR = n_{11} \cdot \exp(-k_{12} t^{n_{12}}) + Ct$	Vega-Gálvez et al. (2011)
Weibull	$SR = \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right)$	Corzo et al. (2008)

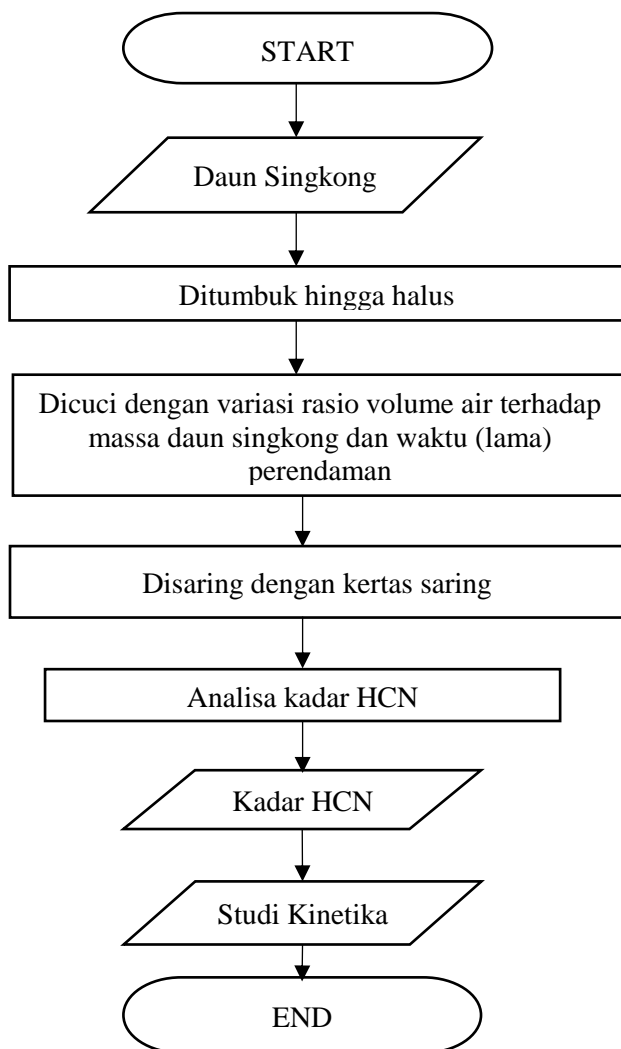
III.7 Uji Statistik

Untuk mengetahui ketelitian masing-masing model yang diusulkan untuk kinetika *leaching* sianida terhadap hasil eksperimen, maka dilakukan evaluasi dengan menggunakan uji statistik, yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Sum Square Error* (SSE).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_{eksperimen\ i} - SR_{model\ i})^2 \right]^{1/2}$$

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_{eksperimen\ i} - SR_{model\ i})^2$$

III.8 Diagram Alir Prosedur Penelitian



Gambar III.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Singkong merupakan tanaman tropis yang tersedia sepanjang tahun dan mudah dibudidayakan. Menurut kandungan asam sianida (HCN) di dalamnya, tanaman singkong dapat dibagi menjadi dua jenis, yakni singkong pahit (*Manihot utilissima*) dan singkong manis (*Manihot esculenta*). Pada umumnya, masyarakat hanya mengambil bagian akar (umbi), padahal bagian batang, daun, dan tangkai daun singkong juga dapat dikonsumsi dan dapat diolah, baik menjadi bahan makanan maupun obat-obatan. Pada penelitian ini bagian singkong yang digunakan adalah daunnya. Daun singkong yang digunakan adalah singkong taun, yang merupakan jenis *bitter cassava*. Daun singkong ini berbentuk menjari dan berukuran lebih besar dibandingkan dengan daun singkong jenis *sweet cassava*. Daun singkong memiliki kadar nutrisi di atas rata-rata bahan makanan pokok lainnya. Namun, daun singkong mengandung potensi sianogenik yang lebih banyak dari pada akarnya, dan dianggap sangat beracun. Oleh karena itu, perlu dilakukan *treatment* untuk menurunkan kadar sianida pada daun singkong sebelum dikonsumsi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pencucian daun singkong dengan cara perendaman di dalam air. Daun singkong yang telah dihaluskan menggunakan mortar dan alu direndam dengan air pada rasio volume tertentu dan waktu tertentu. Penelitian ini difokuskan pada total sianida pada daun singkong sebelum dan sesudah proses pencucian. Selanjutnya, pengetahuan tentang perilaku kinetika *leaching* sianida pada daun singkong dengan air dapat digunakan untuk memprediksi mekanisme perpindahan massa (difusi) dan untuk memperkirakan waktu pencucian agar sianida pada daun singkong mencapai kondisi kesetimbangan.

IV.1 Kadar HCN Awal Daun Singkong

Analisis kadar HCN bahan awal dilakukan untuk mengetahui kadar HCN awal dari daun singkong sebelum dilakukan proses pencucian. Daun singkong dipilih yang masih segar, sehingga kandungannya masih dalam kondisi yang baik. Selanjutnya, daun singkong diambil sebanyak 100 g untuk analisis kadar HCN awal pada daun singkong menggunakan metode SNI 2011.

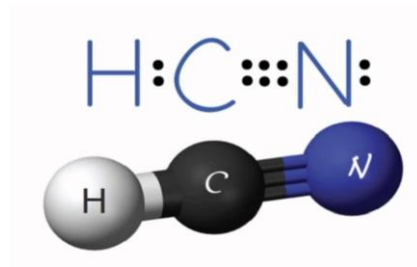
Tabel IV. 1 Hasil Analisis Kadar HCN Awal Daun Singkong

Komponen	Kadar (ppm)
HCN	159,15

Berdasarkan **Tabel IV.1**, kadar HCN awal daun singkong taun yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 159,15 ppm. Kandungan HCN dalam daun singkong untuk setiap varietas singkong jumlahnya tidak konstan dan dapat berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh adanya beberapa faktor yang mempengaruhi, antara lain : keadaan iklim, keadaan tanah, umur daun singkong, cara pemupukan, dan cara budidaya dari varietas singkong yang digunakan.

Asam Sianida (HCN)

Glikosida sianogenik merupakan senyawa yang terdapat dalam bahan makanan nabati dan secara potensial sangat beracun karena dapat terurai dan mengeluarkan asam sianida. Asam sianida dikeluarkan bila komoditi tersebut dihancurkan, dikunyah, mengalami pengirisan, atau rusak. Glikosida sianogenik terdapat pada berbagai tanaman dengan nama senyawa yang berbeda seperti amigladin pada biji almond, aprikot, dan apel, durin pada biji sorgum, dan linamarin pada kara (*lima bean*) dan ubi kayu. Nama kimia bagi amigladin adalah glukosida benzaldehida sianohidrin; durin, glukosida p-hidroksida-benzaldehida sianohidrin; linamarin, glukosida aseton sianohidrin (Winarno, 2004).



Gambar IV. 1 Struktur Molekul HCN

Zat glikosida ini diberi nama linamarin yang berasal dari aseton sianohidrin yang bila dihidrolisis akan terurai menjadi glukosa, aseton, dan HCN. Linamarin mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{17}O_6N$ dan mempunyai sifat yang mudah larut dalam air (Sosrosoedirdjo, 1993). Asam sianida disebut juga hidrogen sianida (HCN), biasanya terdapat dalam bentuk gas atau larutan dan terdapat pula dalam bentuk garam-garam alkali seperti potasium sianida. Sifat-sifat HCN murni mempunyai sifat tidak berwarna, mudah menguap pada suhu kamar dan mempunyai bau khas. HCN mempunyai berat molekul yang ringan, sukar terionisasi, mudah berdifusi, dan lekas diserap melalui paru-paru, saluran cerna, dan kulit (Dep Kes RI, 1989).

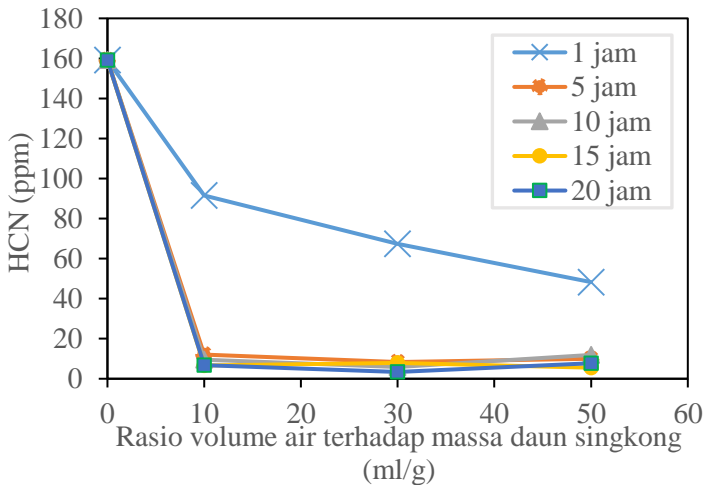
HCN dikenal sebagai racun yang mematikan. HCN akan menyerang langsung dan menghambat sistem antar ruang sel, yaitu menghambat sistem cytochrome oxidase dalam sel-sel, hal ini menyebabkan zat pembakaran (oksigen) tidak dapat beredar ke tiap-tiap jaringan sel-sel dalam tubuh. Hal ini akan menimbulkan tekanan dari alat-alat pernafasan yang menyebabkan kegagalan pernafasan, menghentikan pernafasan, dan jika tidak tertolong akan menyebabkan kematian. Bila dicerna, HCN sangat cepat terserap oleh alat pencernaan dan masuk ke dalam saluran darah. HCN dapat menyebabkan sakit hingga kematian, bergantung pada jumlah yang dikonsumsi, dosis yang mematikan adalah 0,5 - 3,5 mg HCN / kg berat badan (Winarno, 2004). Sedangkan batas aman HCN adalah 10 mg per kg bahan kering (FAO/WHO, 1991).

Sianida sebagai hidrogen sianida, atau salah satu garamnya, yang banyak digunakan dalam *electroplating*, adalah racun yang bertindak sangat cepat (reaktif). Sianida tidak stabil dalam air dan dapat dihilangkan dengan perlakuan biologi atau dengan klorinasi. Hal ini hanya mungkin terjadi dalam air sebagai hasil dari tumpahan bahan kimia (Dean, 1981).

IV.2 Pengaruh Rasio Volume Air terhadap Kadar HCN

HCN merupakan salah satu zat anti nutrisi yang terdapat pada singkong. Zat ini terdapat hampir di seluruh bagian singkong, tidak terkecuali pada daunnya. Pada penelitian ini, salah satu variabel yang digunakan adalah rasio volume air terhadap massa daun singkong. Variabel ini dipilih karena salah satu faktor yang berpengaruh pada proses *leaching* adalah rasio antara pelarut dan bahan baku. Apabila rasio pelarut dan bahan baku semakin besar, maka jumlah senyawa yang terlarut juga akan semakin besar. Akibatnya, laju ekstraksi akan semakin meningkat. Semakin besar HCN yang terlarut ke dalam air menandakan semakin besar pula HCN yang akan terbuang, sehingga penurunan kadar HCN yang terdapat pada daun singkong akan semakin besar. Selanjutnya, untuk menentukan koefisien difusi pada penelitian ini, maka perlu diketahui terlebih dahulu kadar HCN pada daun singkong. Oleh sebab itu, dilakukan analisis HCN pada daun singkong dengan menggunakan metode argentometri. Analisis diawali dengan mendistilasi sampel yang telah direndam. Kemudian zat uji dalam suasana asam direaksikan dengan larutan baku perak nitrat berlebih. Selanjutnya, kelebihan larutan perak nitrat dititrasi kembali dengan kalium tiosianat menggunakan indikator Ferri amonium sulfat (Slamet Sudarmadji, 1984).

Berikut ini adalah data hasil analisis kadar HCN pada daun singkong dengan variabel rasio volume air terhadap massa daun singkong (10, 30, dan 50 ml/g) pada berbagai waktu perendaman :



Gambar IV. 2 Hubungan Kadar HCN dengan Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong

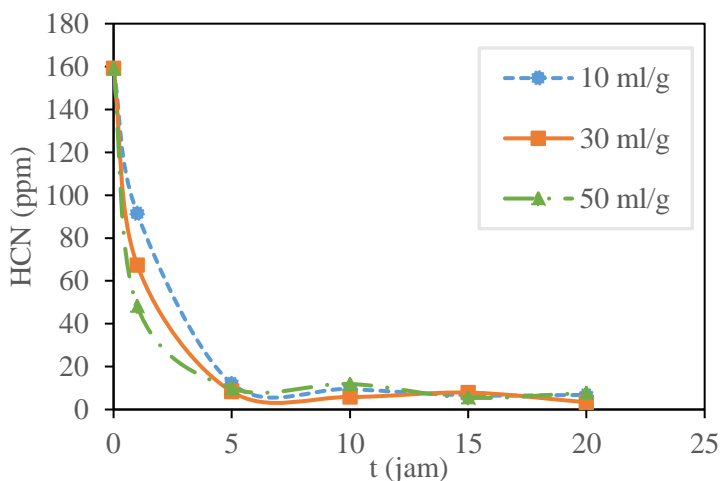
Dari **Gambar IV.2**, dapat dilihat bahwa secara umum kadar HCN menurun seiring bertambahnya rasio volume air terhadap massa daun singkong (10, 30, dan 50 ml/g). Hal ini menunjukkan bahwa rasio antara volume pelarut dengan bahan yang diekstrak dapat mempengaruhi jumlah bahan yang terekstrak. Selain itu, alasan menggunakan pelarut air adalah karena salah satu sifat asam sianida adalah mudah larut di dalam air (Nasution, 2015). Oleh karena itu, perendaman daun singkong dalam air cukup efektif dan efisien untuk mengurangi racun asam sianida. Terlebih lagi, cara ini dinilai paling mudah untuk dilakukan.

IV.3 Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Kadar HCN

Selain variabel rasio volume air terhadap massa daun singkong, dalam penelitian ini juga digunakan variabel waktu perendaman. Variabel waktu dipilih karena hal ini juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kadar sianida pada daun singkong. Semakin lama daun singkong disimpan (didiamkan),

maka kadar sianida yang terdapat pada daun singkong akan semakin menurun. Sesuai dengan penelitian Yuningsih (1999), di mana lama penyimpanan berpengaruh terhadap penurunan kandungan sianida pada daun singkong. Namun, dalam penelitian tersebut diperlukan waktu 3 hari agar kadar HCN yang awalnya 166,6 ppm (berat kering) menjadi kurang dari 10 ppm, yang merupakan batas aman sianida menurut FAO/WHO (1991). Oleh sebab itu, dipilih metode pencucian dengan variabel waktu perendaman dalam penelitian ini untuk mempercepat penurunan kadar sianida.

Berikut ini adalah data hasil analisis kadar HCN pada daun singkong dengan variabel waktu perendaman (1, 5, 10, 15, dan 20 jam) pada berbagai rasio volume air :



Gambar IV.3 Hubungan Kadar HCN terhadap Waktu Perendaman

Dari **Gambar IV.3**, dapat dilihat bahwa secara umum kadar HCN menurun seiring bertambahnya waktu perendaman (1, 5, 10, 15, dan 20 jam). Grafik tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar sianida terekstraksi dalam 5 jam pertama pada masing-masing rasio volume air, sedangkan kadar HCN pada daun singkong untuk

waktu perendaman selama 5 – 20 jam relatif stabil. Hal ini dapat disebabkan karena pelarut yang digunakan sudah jenuh setelah perendaman selama 5 jam. Dengan demikian, konsentrasi antara pelarut (air) di luar daun singkong dengan konsentrasi di dalam daun singkong tersebut telah mencapai kondisi kesetimbangan (Wulandari dan Zulfadli, 2017). Sehingga, total HCN yang hilang dari daun dan larut dalam air adalah sekitar 90% dari total HCN yang terdapat pada daun singkong segar (tanpa perlakuan), sesuai dengan tabel berikut ini :

Tabel IV. 2 Presentase Penurunan Kadar HCN pada Daun Singkong (%)

Waktu (jam)	Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong (ml/g)		
	10	30	50
1	42,5	57,6	69,7
5	92,4	94,8	93,8
10	94,0	96,3	92,5
15	95,8	95,0	96,5
20	95,7	97,9	95,1

Hasil analisa HCN daun singkong pada saat awal (tanpa perlakuan) adalah sebesar 159,15 ppm. Sedangkan daun singkong yang telah dihancurkan lalu direndam di dalam air dengan rasio 10 ml/g selama 1 jam, mengandung HCN sebesar 91,52 ppm. Penurunan kadar HCN dari hasil perendaman ini adalah sebesar 42,5%. Daun singkong yang dihancurkan kemudian direndam di dalam air dengan rasio 10 ml/g pada wadah lain selama 5 jam mengalami penurunan yang signifikan. Kadar HCN pada variabel ini didapatkan sebesar 12,11 ppm atau penurunannya sebesar 92,4%. Sedangkan untuk rasio 10 ml/g pada waktu 10, 15, dan 20 jam didapatkan kadar HCN adalah sebesar 9,54 ppm; 6,63 ppm;

serta 6,81 ppm dengan penurunan masing-masing sebesar 94%; 95,8%; serta 95,7%.

Pada variabel rasio 30 ml/g, didapatkan kadar HCN pada daun singkong dengan perendaman selama 1, 5, 10, 15, dan 20 jam adalah sebesar 67,44 ppm; 8,34 ppm; 5,87 ppm; 7,91 ppm; dan 3,38 ppm. Dengan presentase penurunan kadar HCN masing-masing sebesar 57,6%; 94,8%; 96,3%; 95%; dan 97,9%. Sedangkan pada variabel rasio 50 ml/g, didapatkan kadar HCN pada daun singkong dengan perendaman selama 1, 5, 10, 15, dan 20 jam adalah sebesar 48,27 ppm; 9,94 ppm; 11,91 ppm; 5,52 ppm; dan 7,78 ppm. Dengan presentase penurunan kadar HCN masing-masing sebesar 69,7%; 93,8%; 92,5%; 96,5%; dan 95,1%.

IV.4 Model Matematika

Secara keseluruhan, penurunan kadar sianida mengikuti fungsi matematis yang cenderung termasuk fungsi eksponensial. Perilaku kinetika *leaching* sianida sendiri belum pernah diteliti. Studi kinetika sangat penting untuk diketahui dalam penentuan desain proses pencucian pada skala pabrik. Sehingga dapat meminimalisasi proses yang otomatis berpengaruh terhadap biaya pabrik. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi kinetika *leaching* sianida pada daun singkong selama proses pencucian.

Setelah mendapatkan data kadar HCN yang tersisa pada daun singkong setelah direndam dalam air dengan rasio volume tertentu selama waktu tertentu, maka dilakukan perhitungan sianida rasio (SR). Sianida rasio ini dihitung berdasarkan hubungan gradien kandungan sianida sampel pada waktu tertentu dengan konsentrasi sianida pada saat awal dan konsentrasi sianida pada saat setimbang. SR merupakan konsentrasi tak berdimensi yang digunakan untuk mempelajari kinetika *leaching*, dengan asumsi mekanisme difusi terjadi di dalam padatan, sedangkan transfer massa eksternal dapat diabaikan. Karena penelitian ini tidak bertujuan untuk mengoptimalkan proses ekstraksi, namun untuk

memodelkan kinetika *leaching*, maka konsentrasi sianida dalam ekstrak tidak ditentukan (Quispe-Fuentes et al., 2012).

Konsentrasi mula-mula HCN pada daun singkong adalah 159,15 ppm. Contoh perhitungan SR pada data eksperimen untuk perendaman dengan rasio volume air 10 ml/g selama 1 jam adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SR &= \frac{X_{st} - X_{se}}{X_{so} - X_{se}} \\ SR &= \frac{91,52 - 3,3}{159,15 - 3,3} \\ SR &= 0,5661 \end{aligned}$$

di mana :

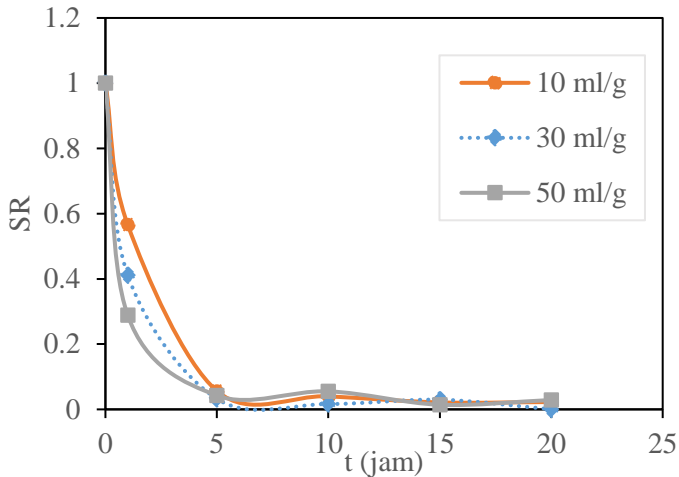
SR = Sianida Rasio

X_{st} = Konsentrasi sianida pada waktu tertentu

X_{so} = Konsentrasi sianida pada saat awal

X_{se} = Konsentrasi sianida pada saat kondisi setimbang (konstan)

Nilai SR pada variabel lain dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar IV. 4 Hubungan antara SR eksperimen terhadap waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong

Berdasarkan **Gambar IV. 4**, dapat dilihat bahwa semakin lama waktu perendaman, maka SR yang didapat juga semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa SR berbanding lurus dengan kadar HCN yang terukur pada daun singkong setelah perlakuan. Kemudian dilakukan pendekatan menggunakan model matematika untuk perhitungan koefisien difusi nantinya. Dalam penelitian ini, digunakan persamaan berdasarkan hukum kedua Fick untuk periode waktu, serta geometri bola dalam satu dimensi, yang diwakili dalam *The Mathematics of Diffusion* (Crank, 1975) dengan mengasumsikan partikel daun singkong yang diteliti adalah berbentuk bulatan, hal ini karena daun singkong yang digunakan sebelum direndam telah dihaluskan hingga ukuran partikelnya sangat kecil, yang kemudian disaring menggunakan saringan yang berukuran 60 mesh, sehingga diameter partikelnya sebesar 0,00025 m ($r^2 = 1,5625 \times 10^{-8} \text{ m}^2$). Di mana koefisien difusi sianida juga diperoleh untuk setiap rasio volume air. Berikut ini adalah persamaan dari model Crank :

$$SR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-\frac{D_{se} n^2 \pi^2}{r^2} t}$$

Metode Regresi Linear

Pada metode regresi linear, perhitungan SR model dilakukan dengan menentukan $n = 1$, sehingga persamaan model Crank tersebut menjadi :

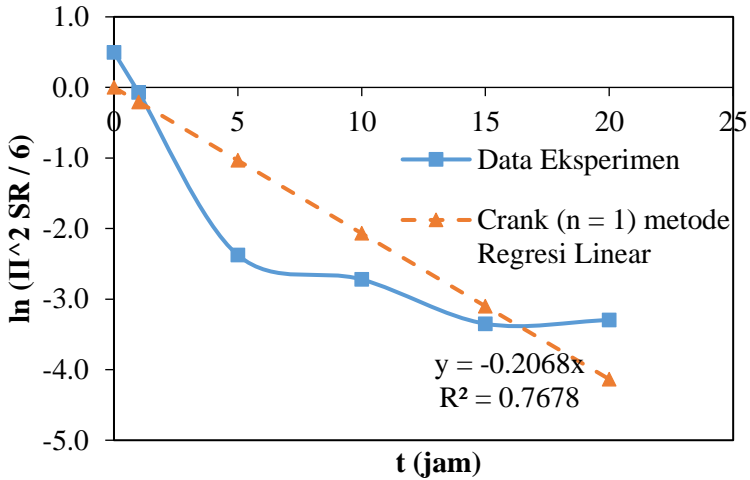
$$SR = \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t}$$

$$\frac{\pi^2}{6} SR = e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t}$$

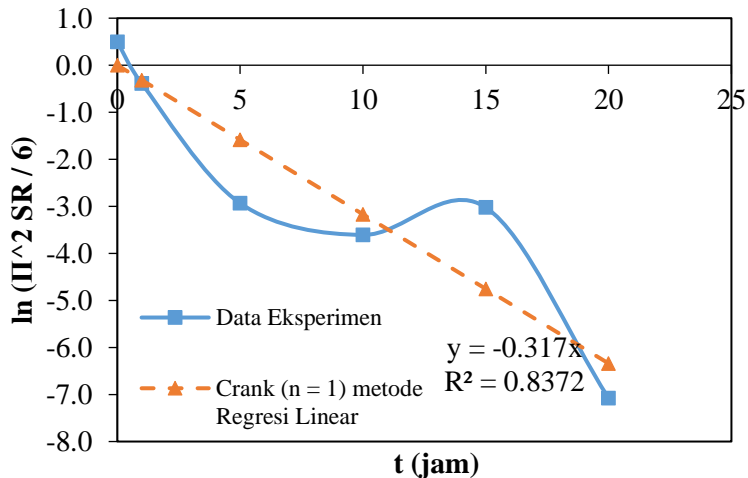
yang kemudian dilinearkan, sehingga menjadi

$$\ln\left(\frac{\pi^2}{6} SR\right) = -\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t$$

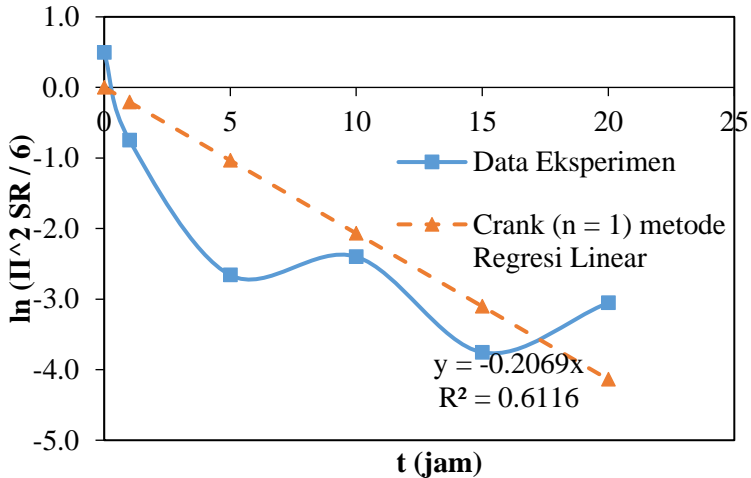
maka apabila diplot ke dalam grafik, hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar IV. 5 Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong 10 ml/g



Gambar IV. 6 Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong 30 ml/g



Gambar IV. 7 Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong 50 ml/g

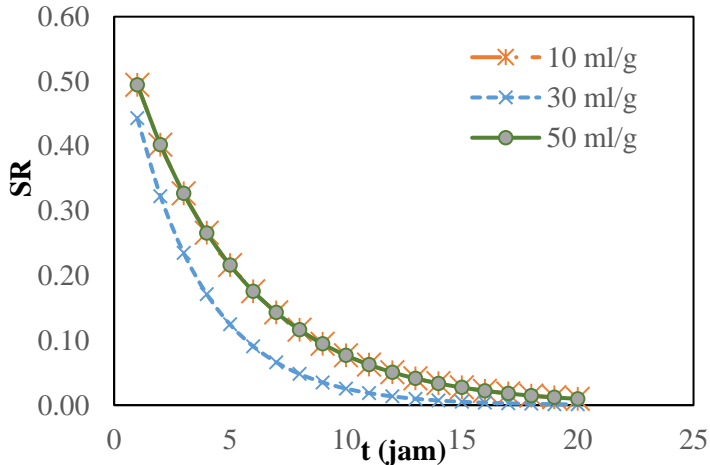
Dari **Gambar IV. 5**, **IV. 6**, dan **IV. 7** tersebut, didapatkan nilai $-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$ atau nilai slope untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu $-0,2068$, $-0,317$, dan $-0,2069$. Sehingga, slope yang didapatkan dari masing-masing grafik dapat digunakan untuk menghitung SR model. Contoh perhitungan SR model dengan menggunakan metode regresi linear untuk perendaman dengan rasio 10 ml/g selama 1 jam adalah sebagai berikut :

$$SR = \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t}$$

$$SR = \frac{6}{3,14^2} e^{-0,2068 \times 1}$$

$$SR = 0,4948$$

Perhitungan SR model dilakukan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g pada waktu 1 sampai 20 jam, sehingga didapatkan nilai SR model sesuai dengan grafik berikut :



Gambar IV. 8 Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Linear

Dari **Gambar IV. 8**, dapat dilihat SR untuk model Crank dengan metode regresi linear. Namun, R^2 yang didapatkan dari **Gambar IV. 5**, **IV. 6**, dan **IV. 7** masih kurang teliti, maka perlu dilakukan perhitungan dengan metode regresi non linear.

Metode Regresi Non Linear

Pada metode regresi non linear, perhitungan SR model dilakukan dengan menentukan $n = 1, 2, 3, 4,$ dan 5 . Selanjutnya, perhitungan diselesaikan dengan menggunakan metode Secant pada MATLAB. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel IV. 3 Hasil Perhitungan pada Rasio 10 ml/g dengan MATLAB

n	A	Toleransi	Error
1	0.44861	0.001	0.00015818
2	0.44873		0.00015722
3	0.44873		0.00015723
4	0.44873		0.00015723
5	0.44873		0.00015723

Tabel IV. 4 Hasil Perhitungan pada Rasio 30 ml/g dengan MATLAB

n	A	Toleransi	Error
1	0.58695	0.001	0.00057663
2	0.58697		0.00057712
3	0.58697		0.00057712
4	0.58697		0.00057712
5	0.58697		0.00057712

Tabel IV. 5 Hasil Perhitungan pada Rasio 50 ml/g dengan MATLAB

n	A	Toleransi	Error
1	0.49951	0.001	0.00064153
2	0.49955		0.00063885
3	0.49955		0.00063887
4	0.49955		0.00063887
5	0.49955		0.00063887

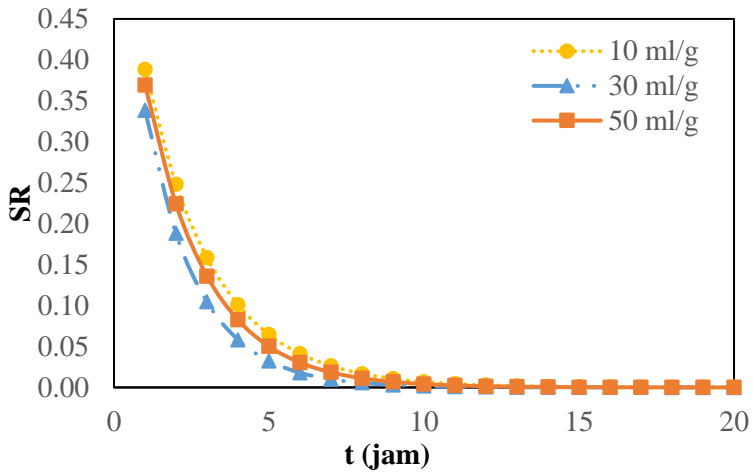
Berdasarkan **Tabel IV. 3**, **IV. 4**, dan **IV. 5**, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan menggunakan bantuan MATLAB untuk $n = 2$ sampai $n = 5$ relatif konstan karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Maka dipilihlah $n = 2$ untuk perhitungan D_{se} , karena dianggap sudah cukup teliti dan untuk memudahkan perhitungan, di mana α adalah $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$ untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu 0,44873; 0,58697; dan 0,49955. Sehingga, data tersebut kemudian dapat digunakan untuk menghitung SR model. Contoh perhitungan SR model dengan menggunakan metode regresi non linear untuk perendaman dengan rasio 10 ml/g selama 1 jam adalah sebagai berikut ($n = 2$) :

$$SR = \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t} + \frac{1}{4} e^{-\frac{4 D_{se} \pi^2}{r^2} t} \right]$$

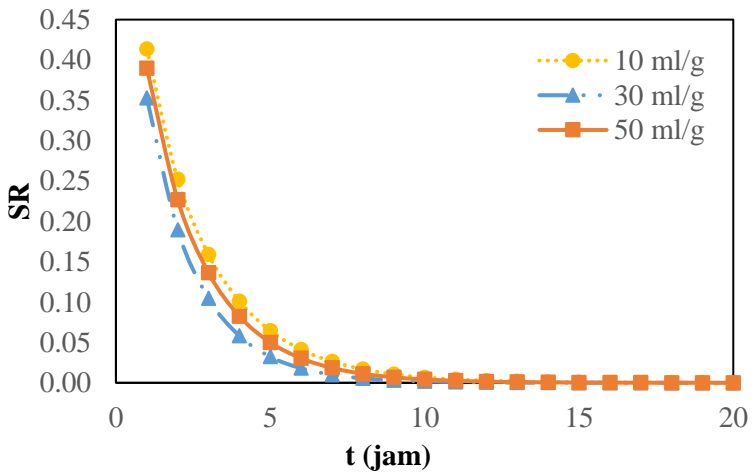
$$SR = \frac{6}{3,14^2} \left[\frac{1}{1} e^{-0,44873 \times 1} + \frac{1}{4} e^{-0,44873 \times 4 \times 1} \right]$$

$$SR = 0,41379$$

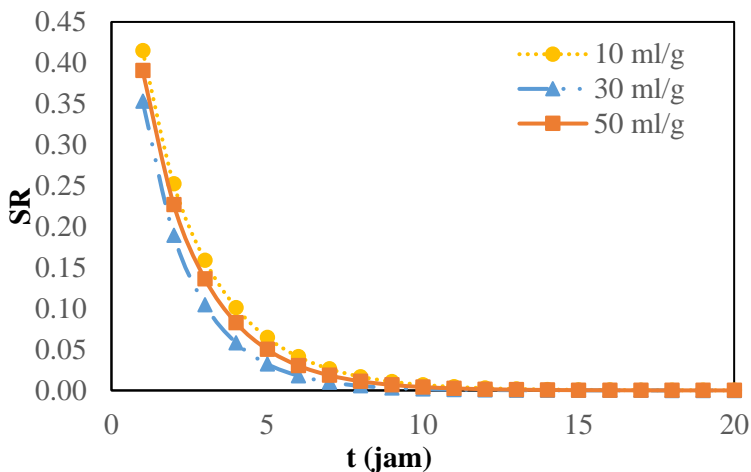
Perhitungan SR model dilakukan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g pada waktu 1 sampai 20 jam dengan $n = 1, 2, 3, 4$, dan 5 , sehingga didapatkan nilai SR model sesuai dengan grafik berikut :



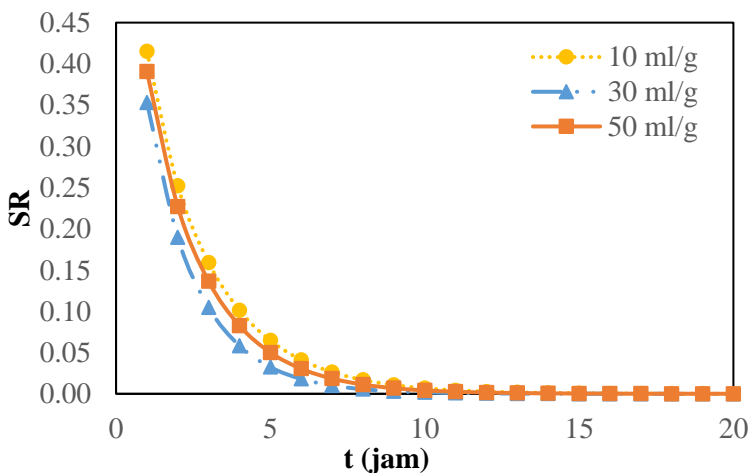
Gambar IV. 9 Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 1$)



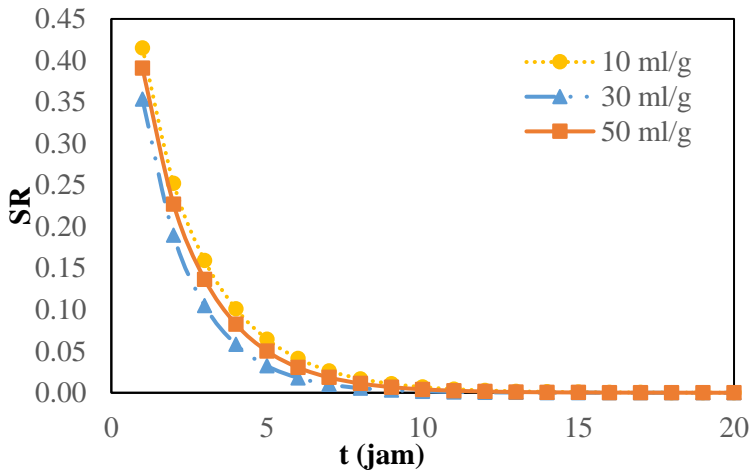
Gambar IV. 10 Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 2$)



Gambar IV. 11 Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 3$)

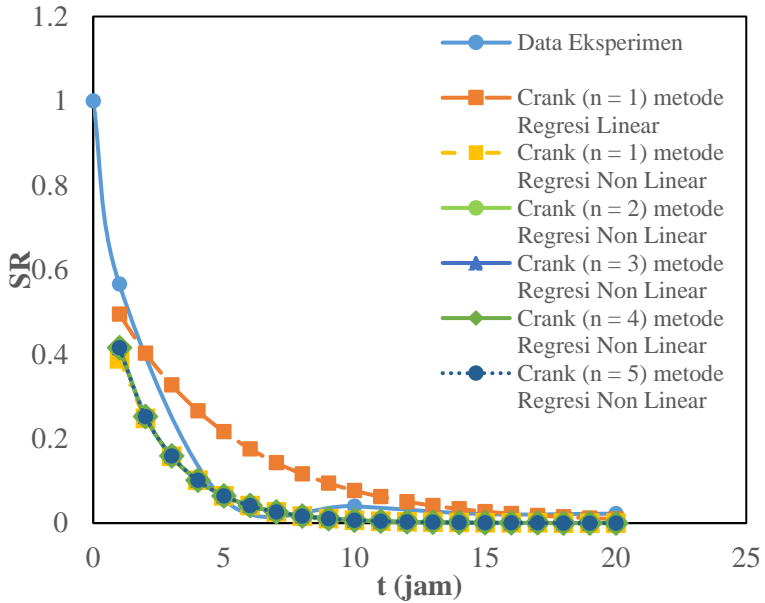


Gambar IV. 12 Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 4$)

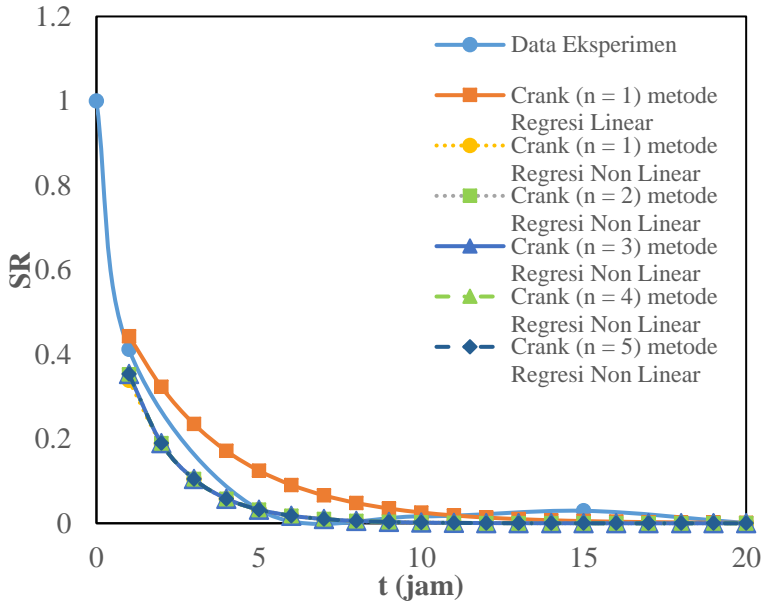


Gambar IV. 13 Hubungan antara SR model Crank dengan waktu pada rasio volume air terhadap massa daun singkong menggunakan metode Regresi Non Linear ($n = 5$)

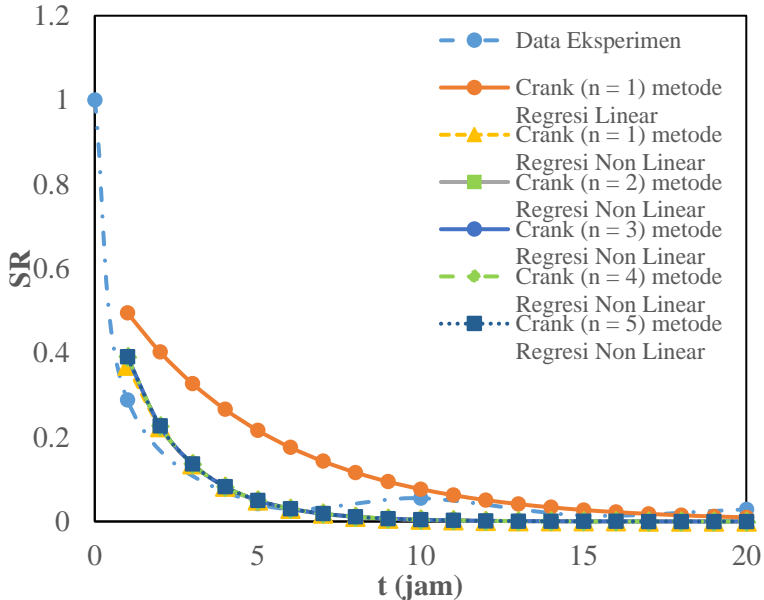
Berdasarkan **Gambar IV. 9, IV. 10, IV. 11, IV. 12, dan IV. 13** tersebut, dapat dilihat SR untuk model Crank dengan metode regresi non linear. Apabila kedua metode tersebut dibandingkan dengan SR eksperimen, maka hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar IV. 14 Hubungan antara SR terhadap waktu untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 10 ml/g



Gambar IV. 15 Hubungan antara SR terhadap waktu untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 30 ml/g



Gambar IV. 16 Hubungan antara SR terhadap waktu untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 50 ml/g

Berdasarkan **Gambar IV. 14**, **IV. 15**, dan **IV. 16**, dapat dilihat bahwa SR model Crank dengan metode Regresi Non Linear lebih mendekati SR yang didapat dari data eksperimen, jika dibandingkan dengan SR model Crank yang didapatkan dari metode Regresi Linear. Hal ini didukung dengan perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) pada masing-masing rasio volume air terhadap massa daun singkong, di mana kesalahan terkecil didapatkan oleh SR model Crank untuk metode Regresi Non Linear untuk $n = 2$ hingga $n = 5$.

IV.5 Estimasi Koefisien Difusi Sianida Efektif (D_{se})

Pada perhitungan menggunakan model Crank dengan metode Regresi Linear maupun metode Regresi Non Linear telah

didapatkan nilai $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$ untuk masing-masing rasio. Pada metode Regresi Linear didapatkan nilai $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$ untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu 0,2068; 0,317; dan 0,2069. Sedangkan, pada metode Regresi Non Linear, yaitu 0,44873; 0,58697; dan 0,49955. Berdasarkan data tersebut, maka nilai koefisien difusi sianida efektif (D_{se}) dapat ditentukan untuk masing-masing rasio volume air untuk tiap metode perhitungan. Contoh perhitungan D_{se} adalah sebagai berikut (rasio 10 ml/g, metode Regresi Linear) :

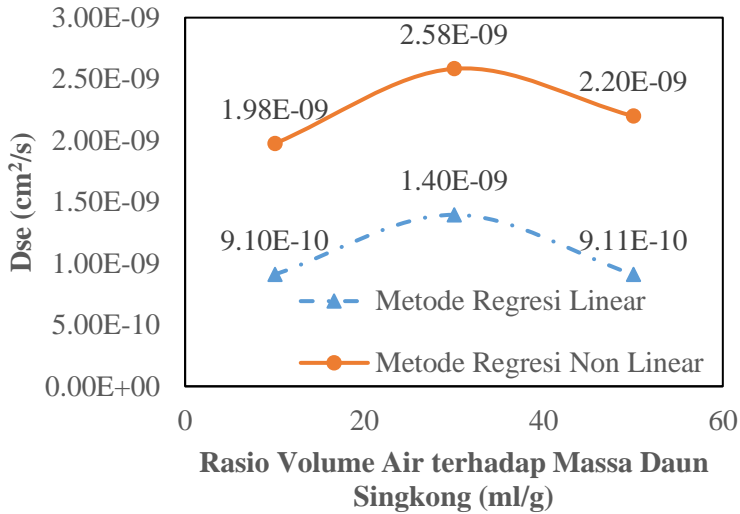
$$\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = 0,2068$$

$$D_{se} = \frac{0,2068 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,2068 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 3,28 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{jam}$$

$$D_{se} = 9,10 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

Perhitungan D_{se} dilakukan untuk masing-masing rasio pada masing-masing metode perhitungan, sehingga didapatkan nilai D_{se} untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g seperti pada grafik berikut :



Gambar IV. 17 Hubungan antara D_{se} terhadap Rasio pada metode Regresi Linear dan metode Regresi Non Linear

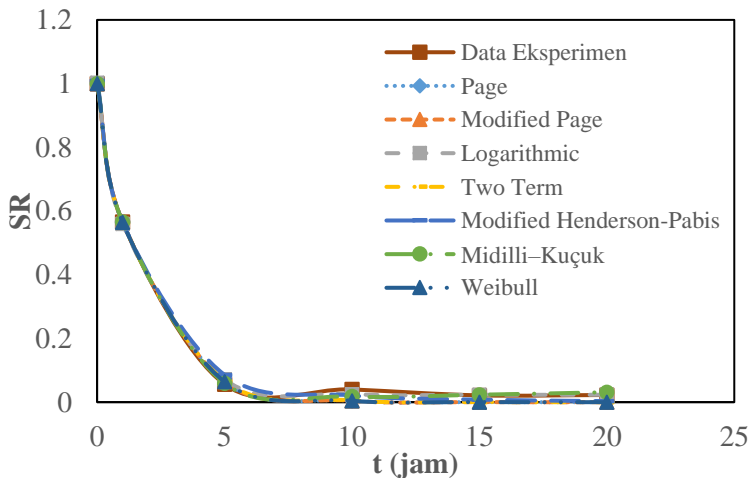
Berdasarkan **Gambar IV. 17**, dapat dilihat hubungan antara D_{se} dengan rasio volume air terhadap massa daun singkong. Secara umum, grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar volume, maka nilai D_{se} juga semakin besar. Nilai D_{se} yang didapatkan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu $9,10 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, $1,40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan $9,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ pada metode Regresi Linear, serta $1,98 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, $2,58 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan $2,20 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ pada metode Regresi Non Linear.

Nilai koefisien difusi sianida efektif (D_{se}) tersebut menunjukkan laju perpindahan massa (difusi) atau peristiwa larutnya sianida pada daun singkong ke dalam air selama proses pencucian, di mana semakin besar nilai koefisien difusi, maka semakin cepat pula peristiwa difusi tersebut (Quispe-Fuentes et al., 2012). Nilai koefisien difusi ini nantinya dapat digunakan untuk kepentingan perancangan proses pabrik kimia dalam pengolahan daun singkong, khususnya dalam perancangan alat untuk proses

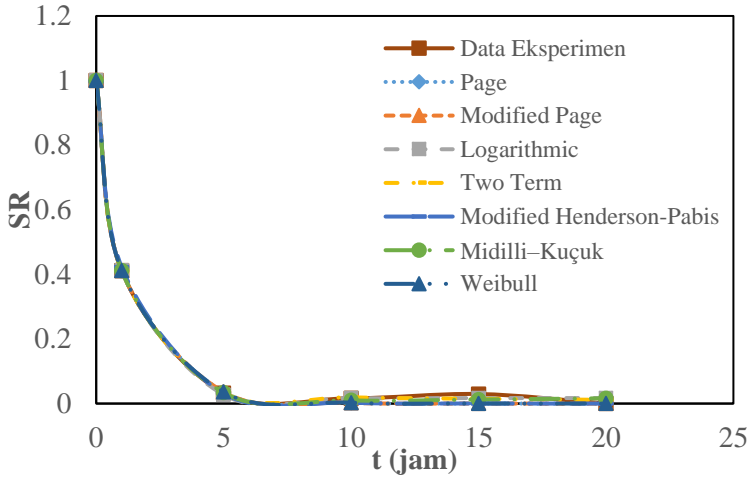
pencucian daun singkong, agar kadar HCN yang tersisa pada daun singkong sesuai dengan yang diinginkan dan sesuai standar batas kandungan HCN pada makanan dan obat-obatan, yaitu kurang dari 10 ppm (FAO/WHO, 1991).

IV.6 Permodelan Kinetika *Leaching* Sianida

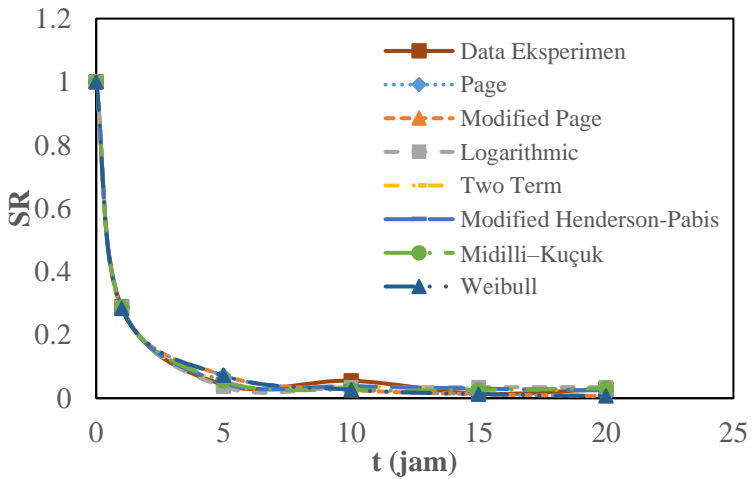
Dalam penelitian ini, peristiwa penurunan kadar sianida pada proses pencucian daun singkong dapat dimodelkan berdasarkan hukum kedua Fick tentang difusi, yang dinyatakan dalam persamaan model Crank. Selain itu, peristiwa *leaching* sianida dalam penelitian ini serupa dengan peristiwa *drying*, sehingga dapat dilakukan pendekatan perhitungan hasil eksperimen dengan beberapa model empiris, antara lain model Page dan Modified Henderson-Pabis, yang merupakan *thin layer drying model* (Quispe-Fuentes et al., 2012). Hal ini bertujuan untuk mengetahui model empiris yang sesuai dengan hasil eksperimen ini.



Gambar IV. 18 Hubungan antara SR terhadap waktu pada rasio 10 ml/g



Gambar IV. 19 Hubungan antara SR terhadap waktu pada rasio 30 ml/g



Gambar IV. 20 Hubungan antara SR terhadap waktu pada rasio 50 ml/g

Berdasarkan **Gambar IV. 19**, **Gambar IV. 20**, dan **Gambar IV. 21**, secara umum, semua model yang diusulkan menunjukkan kualitas fit yang baik. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji statistik *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Sum Square Error* (SSE) yang nilainya mendekati nol untuk masing-masing model yang diujikan. Model yang paling sesuai dengan data eksperimen, dengan mempertimbangkan hasil uji statistik, nilai terendah untuk RMSE ($<0,011$) dan SSE ($<0,00011$) diperoleh untuk model Logarithmic, Two Term, dan Modified Henderson-Pabis. Ketiga model ini menyajikan data statistik terbaik untuk data kinetika *leaching* sianida pada semua variasi rasio.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan kinetika *leaching* sianida (HCN) pada daun singkong selama proses pencucian dengan rasio volume air 10, 30, dan 50 ml/g pada waktu pencucian selama 1, 5, 10, 15, dan 20 jam, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai koefisien difusi sianida efektif (D_{se}) pada daun singkong adalah :
 - a. Menggunakan model Crank dengan metode Regresi Linear untuk rasio volume air 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu $9,10 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, $1,40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan $9,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$.
 - b. Menggunakan model Crank dengan metode Regresi Non Linear untuk rasio volume air 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu $1,98 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, $2,58 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan $2,20 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$.
di mana semakin besar koefisien difusinya, maka semakin cepat perpindahan massanya (difusi).
 - c. Model empiris yang paling mendekati dengan hasil eksperimen adalah Logarithmic, Two Term, dan Modified Henderson-Pabis, dengan nilai terendah untuk RMSE ($<0,011$) dan SSE ($<0,00011$).
2. Kondisi terbaik pada proses pencucian daun singkong untuk menurunkan kadar sianida adalah :
 - $P = 1 \text{ atm}$
 - $T = 30^\circ\text{C}$
 - Rasio volume air terhadap daun singkong = 30 ml/g
 - Waktu pencucian = 5 jam

V.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi suhu, agar dapat dilihat pengaruh suhu terhadap koefisien difusi HCN pada daun singkong.
2. Melakukan studi kinetika HCN pada metode-metode lain, serta melakukan analisa proksimat daun singkong.
3. Daun singkong sangat berpotensi sebagai bahan makanan maupun obat-obatan, sehingga budidaya singkong perlu dilakukan. Hal ini juga dapat meningkatkan nilai ekonomi dari daun singkong.

DAFTAR PUSTAKA

- Achidi, A. U., O. A. Ajayi, M. Bokanga, dan B. Maziya-Dixon. 2005. *The Use of Cassava Leaves as Food in Africa*. Journal of Ecology of Food and Nutrition, 44(6), 423-435. DOI: 10.1080/03670240500348771
- Alves, A.A.C. 2002. *Cassava Botany and Physiology*. In R.J. Hillock, J.M. Thresh, and A.C. Bellotti (eds.), *Cassava: Biology, Production, dan Utilization*. CAB Internasional. Bahia, 67 – 69.
- Aregheore, E. M. 2012. *Nutritive value and inherent antinutritive factors in four indigenous edible leafy vegetables in human nutrition in Nigeria*. Journal of Food Resource Science, 1-14.
- Badan Pusat Statistik. 2013. *Produksi Buah-Buahan dan Sayuran Tahunan di Indonesia, 1995-2013*. [Online]. <http://www.bps.go.id>. (diakses 9 November 2017, jam 20:29 WIB).
- Baer, J., Rumpler, W. V., Miles, C. W., Fahey, G. C. Jr. 1996. *Dietary fiber decreases the metabolizable energy content and nutrient digestibility of mixed diets fed to humans*. 127, 79-86.
- Bargumono, H. M. dan Wongsowijaya, S. 2012. *9 Umbi Utama sebagai Pangan Alternatif Nasional*. Yogyakarta: Leutika Prio.
- Bokanga, M. 1994. *Processing of Cassava Leaves for Human Consumption*. Acta Hort. (ISHS) 375(18),203-208. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.375.18>
- Bradbury, J. H. dan Holloway, W. D. 1988. *Chemistry of Tropical Root Crops: Significance for Nutrition and Agriculture in the Pacific*. Canberra: ACIAR Monograph No. 6, 201 p.
- Bradbury, J. H. dan Denton, I. C. 2011. *Mild Methods of Processing Cassava Leaves to Remove Cyanogens and Conserve Key Nutrients*. Journal of Food Chemistry, 127(4), 1755-1759. doi:10.1016/j.foodchem.2011.02.053

- Camara, F. S., Madruga, M. S. 2001. *Cyanic acid, phytic acid, total tannin and aflatoxin contents of a brazilian (natal) multimistura preparation*. 14, 33-36.
- Chiwona-Karlton, L., T. Tylleskar, J. Mkumbira, M. Gebre-Medhin, H. Rosling. 2000. *Low Dietary Cyanogen Exposure from Frequent Consumption of Potentially Toxic Cassava in Malawi*. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 51(1), 33-43. DOI: 10.1080/096374800100886
- Cock, J. H. 1985. *Cassava: New Potential for a Neglected Crop*, hal 10. Boulder: Westview Press.
- Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion*, 2nd Ed., hal 89-103. Oxford: Clarendon Press.
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1979. *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Jakarta: Bharata Karya Aksara.
- FAO/WHO. 1991. *Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission XII (Suppl. 4)*. Roma: FAO.
- Frochlich Y and Tháii Vãn Hùng. 2001. *Using industrial cassava leaves animal feed processing. Vietnam cassava, status-oriented and solution development developed the first years in century*. Institute of Agricultural Science for Southern, 173-174.
- Quispe-Fuentes, I., Vega-Galvez, A., Miranda, M., Lemus-Mondaca, R., Lozano, M., Ah-Hen, K. 2012. *A Kinetic Approach to Saponin Extraction During Washing of Quinoa Seeds*. Journal of Food Process Engineering Wiley Periodicals, Inc.
- Gil J.L., Buitrago A.J.A. 2002. *Cassava in animal feed*. In: *Cassava in the third millenium: modern production, processing, utilization and marketing*. Centro Internacionalde Agricultura Tropical, 52-69.
- Hajar, S. 2011. *Studi variasi morfologi dan anatomi daun, serta jumlah kromosom Hibiscus rosa-sinensis L. di kampus*

- Universitas Indonesia, Depok. Skripsi Departemen Biologi FMIPA Universitas Indonesia, Depok:*xiv + 76 hlm.
- Karri, V. R. dan N. Nalluri. 2016. *Cassava: Meeting the Global Protein Need*. Plant Science Today, 3(3), 304-311. <http://dx.doi.org/10.14719/pst.2016.3.3.249>
- Khalid, M., Farhatullah, N. U. Khan, R. Din, M. Y. Khan, M. Akmal & N, Ali. 2010. *Linkage of morphological markers in Brassica*. Pakistanis Journal of Botany, 42(5), 2995-3000. Pakistan: University Peshawar.
- Khieu B, Chhay T, Ogle RB, Preston TR. 2005. *Research on the use of cassava leaves for livestock feeding in Cambodia. In: Proceeding of the regional workshop on "The Use of Cassava Roots and Leaves for On- Farm Animal Feeding"*, Hue, Vietnam. p.17e9.
- Lancaster, P. A. dan Brooks, J. E. 1983. *Cassava Leaves as Human Food*. Journal of Economic Botany, 37(3), 331-348. New York: Botanical Garden, Bronx.
- Lingga P., B. Sarwono, I. Rahardi. P.C. Rahardjo. J.J. Afriastini, R. Wudianto, dan W.H Apriadji. 1986. *Bertanam Umbi-Umbian*. Jakarta: PT Penebar Swadaya.
- Montagnac, J. A., Davis, C. R. and Tanumihardjo, S. A. 2009. *Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 8, 181-194.
- Nhassico, D., Muquingue, H., Cliff, J., Cumbana, A., Bradbury, J. H. 2008. *Rising African Cassava Production, Diseases due to High Cyanide Intake and Control Measures*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88, 2043-2049.
- Oguntimein, G. B. 1988. *Processing cassava for animal feed*. In L. R. S.K. Hahn, G.N. Egbunike (Ed.), Potential of Cassava as Livestock Feed in Africa. IITA/ILCA/University of Ibadan.
- Oresegun A, Fagbenro OA, Ilona P and Bernard E. 2016. *Nutritional and antinutritional composition of cassava*

- leaf protein concentrate from six cassava varieties for use in aqua feed*. Cogent Food and Agriculture, 2(1), 1147323. Nigeria: Institute of Oceanography and Marine Research.
- Prabawati, S., Richana, N., dan Suismono. 2011. *Manfaat Singkong*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Rock C.L. 2007. *Primary dietary prevention: is the fiber story over*. Recent Results Cancer Res, 7, 171-174.
- Sadjad, S., 2000. *Bahan Pangan Sumber Karbohidrat*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Scott, G. J., Rosegrant, M. W., dan Ringler, C. 2000. Roots and Tubers for the 21st Century Trends, Projections, and Policy Options. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 31, hal 37. Peru: IFPRI.
- Shigaki, T. 2016. *Cassava: Nature and uses*. In B. Caballero, P. Finglas, & F. Toldra (Eds.), Encyclopedia of food and health, 687–693. Oxford: Elsevier Ltd, UK.
- Soelistijono, 2006. *Tanaman Singkong*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Soemarjo, P. 1992. *Pemuliaan Ubikayu*. Simposium Pemuliaan Tanaman I Komda Jatim.
- Sukria, H. A. dan K. Rantan. 2009. *Sumber dan Ketersediaan Bahan Baku Pakan di Indonesia*. 53, 58-61. Bogor: IPB Press.
- Tarade, K. M., Singhal, R. S., Jayram, R. V., dan Pandit, A. B. 2006. *Kinetics of Degradation of Saponins in Soybean Flour (Glycine max.) during Food Processing*. Journal of Food Engineering, 76(3), 440-445. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.05.044
- Tribadi, Suranto & Saidan. 2010. *Variation of morphological and protein pattern of cassava (Manihot esculenta) varieties of Adira 1 and Cabak Macao in Ngawi, East Java*. Bioscience. 2(1), 14-22. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Wanapat. 1995. *The use of local feed resources for livestock production in Thailand*. Proceedings of the International Conference on Increasing Animal production with local Resources. China Forestry Publishing House, Ministry of Agriculture, China.
- Wargiono, N. Richana, dan A. Hidajat. 2002. *Contribution of Cassava Leaves Used as A Vegetable to Improve Human Nutrition in Indonesia* di Seventh Regional Workshop Bangkok, Thailand, 466-471.
- Widowati, S. dan D.S. Damardjati, 2001. *Menggali Sumberdaya Pangan Lokal dan Peran Teknologi Pangan Dalam Rangka Ketahanan Pangan Nasional*. Majalah Pangan No 36/X/Januari 2001, 3-11. Jakarta: Puslitbang Bulog.
- Winarno, F. G. 2000. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Wobeto, C., Corrêa, A. D., de Abreu, C. M. P., dos Santos, C. D., dan Pereira, H. V. 2007. *Antinutrients in the Cassava (Manihot esculenta Crantz) Leaf Powder at Three Ages of the Plant*. Journal of Food Science and Technology, 27(1), 108-112. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000100019>
- Wulandari dan Zulfadli. 2017. *Uji Kualitatif Kandungan Sianida dalam Rebung (Dendrocalamus asper), Umbi Talas (Colocasia esculenta), dan Daun Singkong (Manihot utilissima phol)*. Jurnal Edukasi Kimia, 2(1), 41-47.
- Yuningsih. 1999. *Pengaruh Cara dan Lama Penyimpanan terhadap Penurunan Kandungan Sianida pada Daun Singkong*. Bogor: Balai Penelitian Veteriner.

DAFTAR NOTASI

AAA	<i>Aromatic Amino Acids</i> (phenylalanine + tyrosine)
C	Konsentrasi
D	Koefisien difusi (cm^2/s)
D_{se}	Koefisien difusi sianida efektif (cm^2/s)
e	Basis logaritma natural (2,71828183)
ln	Logaritma natural
m	Gradien
M_t	Jumlah total sianida yang terdifusi pada waktu tertentu
M_∞	Jumlah total sianida yang terdifusi pada saat setimbang (konstan)
n	Orde / parameter
N	Normalitas (N)
PCT	Konsentrasi protein pada daun singkong dengan <i>acidic thermocoagulation</i>
PCU	Konsentrasi protein pada daun singkong dengan ultrafiltrasi
SAA	<i>Sulphur Amino Acids</i> (methionine + cysteine)
SR	Sianida Rasio
t	Waktu (jam)
V	Volume (ml)
W	Berat (g)
X_0	Konsentrasi awal
X_e	Konsentrasi pada keadaan setimbang
X_t	Konsentrasi pada waktu tertentu
X_{so}	Konsentrasi sianida pada saat awal (ppm)
X_{se}	Konsentrasi sianida pada saat kondisi setimbang (ppm)
X_{st}	Konsentrasi sianida pada waktu tertentu (ppm)

Huruf Latin

α	Parameter empiris		
β	Parameter empiris		
π	Konstanta perbandingan dengan diameternya (3,14)	keliling	lingkaran

APPENDIKS

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisa HCN pada daun singkong, maka didapatkan kandungan HCN pada daun singkong dalam satuan ppm adalah sebagai berikut :

Tabel A. 1 Kandungan HCN pada Daun Singkong (ppm)

Waktu (jam)	Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong (ml/g)		
	10	30	50
0	159.15	159.15	159.15
1	91.52	67.44	48.27
5	12.11	8.34	9.94
10	9.54	5.87	11.91
15	6.63	7.91	5.52
20	6.81	3.38	7.78

A.1 Data Eksperimen

Semua persamaan yang diterapkan dalam penelitian ini untuk pemodelan kinetika *leaching* sianida pada daun singkong menggunakan sianida rasio (SR) sebagai variabel dependen Persamaan (1), berhubungan dengan gradien kandungan sianida sampel pada waktu tertentu dengan konsentrasi sianida pada saat awal dan konsentrasi sianida pada saat setimbang.

SR merupakan konsentrasi tak berdimensi yang digunakan untuk mempelajari kinetika *leaching*, dengan asumsi mekanisme difusi terjadi di dalam padatan, sedangkan transfer massa eksternal dapat diabaikan dalam kondisi pengadukan intensif.

$$SR = \frac{X_{st} - X_{se}}{X_{s0} - X_{se}} \quad (1)$$

di mana :

SR = Sianida Rasio

X_{st} = Konsentrasi sianida pada waktu tertentu

X_{so} = Konsentrasi sianida pada saat awal

X_{se} = Konsentrasi sianida pada saat kondisi setimbang (konstan)

Perhitungan SR Eksperimen

Pada rasio 10 ml/g, saat $t = 1$ jam :

$$SR = \frac{91,52 - 3,3}{159,15 - 3,3} = 0,5661$$

Perhitungan SR eksperimen dilakukan untuk data pada rasio 10, 30, dan 50 ml/g dengan waktu 1, 5, 10, 15, dan 20 jam. Sehingga didapatkan nilai SR eksperimen sesuai dengan tabel berikut :

Tabel A. 2 Hasil Perhitungan SR Eksperimen pada Rasio 10 ml/g

t (jam)	X_{so}	X_{se}	X_{st}	SR
1	159.15	3.3	91.52	0.5661
5	159.15	3.3	12.11	0.0565
10	159.15	3.3	9.54	0.0400
15	159.15	3.3	6.63	0.0214
20	159.15	3.3	6.81	0.0225

Tabel A. 3 Hasil Perhitungan SR Eksperimen pada Rasio 30 ml/g

t (jam)	X_{so}	X_{se}	X_{st}	SR
1	159.15	3.3	67.44	0.4115
5	159.15	3.3	8.34	0.0323
10	159.15	3.3	5.87	0.0165
15	159.15	3.3	7.91	0.0296
20	159.15	3.3	3.38	0.0005

Tabel A. 4 Hasil Perhitungan SR Eksperimen pada Rasio 50 ml/g

t (jam)	X_{so}	X_{se}	X_{st}	SR
1	159.15	3.3	48.27	0.2885
5	159.15	3.3	9.94	0.0426
10	159.15	3.3	11.91	0.0552
15	159.15	3.3	5.52	0.0142
20	159.15	3.3	7.78	0.0287

A.2 Model Matematika

Dalam eksperimen kali ini, persamaan berdasarkan hukum kedua Fick digunakan untuk periode waktu, serta geometri bola dalam satu dimensi, yang diwakili dalam (Crank, 1975) Persamaan (2), di mana koefisien difusi sianida juga diperoleh untuk setiap rasio volume air terhadap massa daun singkong

$$SR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-\frac{Dse n^2 \pi^2}{r^2} t} \quad (2)$$

di mana diameter partikel sebesar 60 mesh atau 0,00025 m ($r^2 = 1,5625 \times 10^{-8} \text{ m}^2$).

A.3 Model Crank dengan Metode Regresi Linear

Pada metode regresi linear ini, perhitungan SR model dilakukan dengan menentukan $n = 1$, sehingga persamaannya menjadi :

$$SR = \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t} \quad (3)$$

$$\frac{\pi^2}{6} SR = e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t} \quad (4)$$

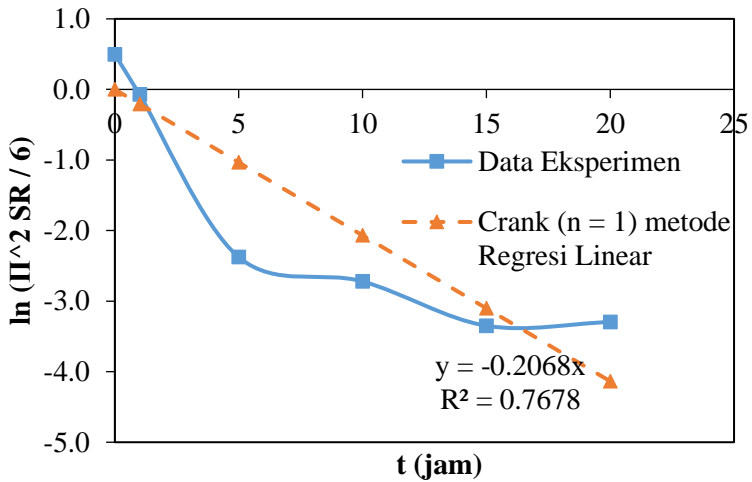
Persamaan (4) dilinearkan, sehingga

$$\ln\left(\frac{\pi^2}{6} SR\right) = -\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t \quad (5)$$

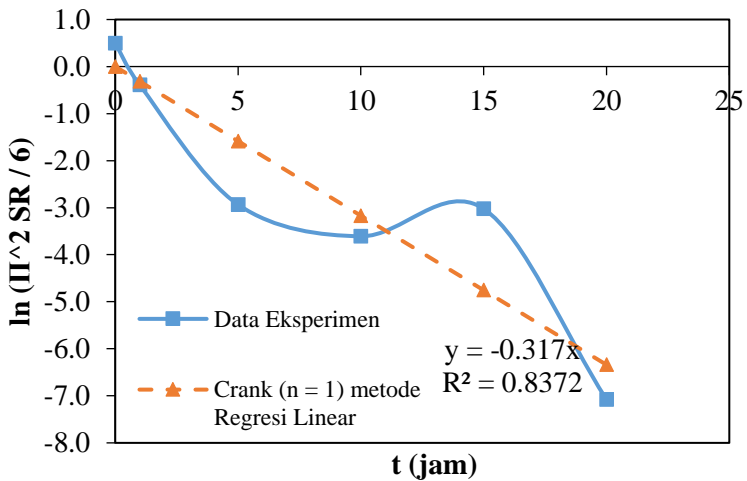
Plot Persamaan (5) ke dalam Grafik

$$\ln\left(\frac{\pi^2}{6} SR\right) = -\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t$$

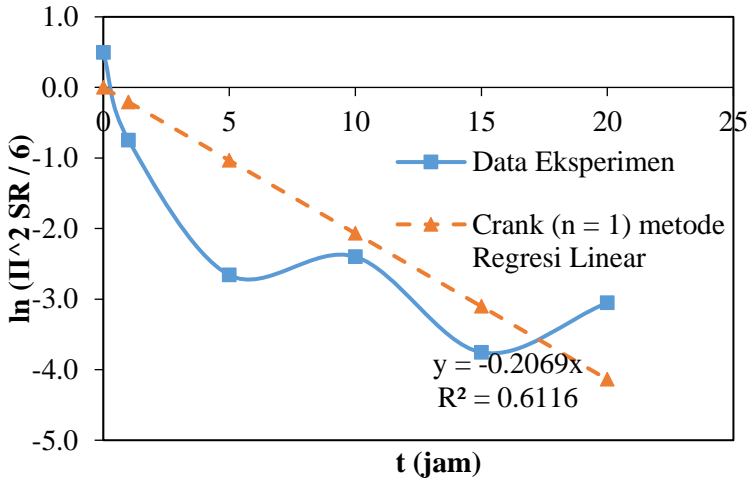
$$y = mx$$



Gambar A. 1 Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio 10 ml/g



Gambar A. 2 Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio 30 ml/g



Gambar A. 3 Grafik Model Crank Metode Regresi Linear untuk Rasio 50 ml/g

Dari **Gambar A. 1**, **A. 2**, dan **A. 3** tersebut tersebut, didapatkan nilai $-\frac{D_{se}\pi^2}{r^2}$ atau nilai slope untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g, yaitu $-0,2068$, $-0,317$, dan $-0,2069$.

Perhitungan SR Model

Dengan mengetahui nilai slope $\left(\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}\right)$, maka dapat dilakukan perhitungan SR model menggunakan persamaan (3).

Pada rasio 10 ml/g, saat $t = 1$ jam :

$$SR = \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t}$$

$$SR = \frac{6}{3,14^2} e^{-0,2068 \times 1}$$

$$SR = 0,4948$$

Perhitungan SR model dilakukan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g pada waktu 1 sampai 20 jam, sehingga didapatkan nilai SR model sesuai dengan tabel berikut :

Tabel A. 5 Hasil Perhitungan SR Model dengan Metode Regresi Linear

Waktu (jam)	SR		
	10 (ml/g)	30 (ml/g)	50 (ml/g)
1	0.4949	0.4432	0.4948
2	0.4024	0.3228	0.4023
3	0.3272	0.2351	0.3271
4	0.2661	0.1712	0.2660
5	0.2164	0.1247	0.2163
6	0.1760	0.0908	0.1759
7	0.1431	0.0662	0.1430
8	0.1164	0.0482	0.1163
9	0.0946	0.0351	0.0945
10	0.0769	0.0256	0.0769
11	0.0626	0.0186	0.0625
12	0.0509	0.0136	0.0508
13	0.0414	0.0099	0.0413
14	0.0336	0.0072	0.0336
15	0.0274	0.0052	0.0273
16	0.0222	0.0038	0.0222
17	0.0181	0.0028	0.0181
18	0.0147	0.0020	0.0147
19	0.0120	0.0015	0.0119
20	0.0097	0.0011	0.0097

Perhitungan D_{se}

Dengan mengetahui nilai slope $\left(\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}\right)$, maka dapat dilakukan perhitungan D_{se} sebagai berikut :

- Rasio 10 ml/g

$$-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = -0,2068$$

$$D_{se} = \frac{0,2068 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,2068 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 3,28 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{jam}$$

$$D_{se} = 9,10 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$$

- Rasio 30 ml/g

$$-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = -0,317$$

$$D_{se} = \frac{0,317 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,317 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 5,02 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{jam}$$

$$D_{se} = 1,40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$$

- Rasio 50 ml/g

$$-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = -0,2069$$

$$D_{se} = \frac{0,2069 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,2069 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 3,28 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{jam}$$

$$D_{se} = 9,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

A.4 Model Crank dengan Metode Regresi Non Linear

Perhitungan SR model dilakukan dengan menentukan $n = 1, 2, 3, 4,$ dan 5 . Sehingga akan terbentuk persamaan polinomial.

Least square adalah metode untuk menentukan fungsi pendekatan polinomial yang paling mendekati.

Ide dasar *least square* adalah :

$$R_i = \text{Residual} = SR_{i \text{ model}} - SR_{i \text{ eksperimen}} \quad (6)$$

$$S = \sum R_i^2 = \text{minimum} \quad (7)$$

keadaan minimum, maka didapatkan :

$$\frac{dS}{d\alpha} = 0 \quad (8)$$

di mana α adalah $\frac{D_{se} \pi^2}{r^2}$.

Kemudian hal ini dijadikan dasar untuk mendapatkan persamaan simultan yang bisa digunakan untuk mencari parameter dari fungsi polinomial.

Dengan menentukan $n = 1, 2, 3, 4,$ dan 5 , maka persamaan (8) menjadi :

$$n = 1$$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} \cdot (-t_i) \right] \right\} = 0$$

$n = 2$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} \cdot (-4t_i) \right] \right\} = 0$$

$n = 3$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} + \frac{1}{9} e^{(-9at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} + \frac{1}{9} e^{(-9at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} \cdot (-4t_i) + \frac{1}{9} e^{(-9at_i)} \cdot (-9t_i) \right] \right\} = 0$$

$n = 4$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} + \frac{1}{9} e^{(-9at_i)} + \frac{1}{16} e^{(-16at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} + \frac{1}{9} e^{(-9at_i)} + \frac{1}{16} e^{(-16at_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-at_i)} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{(-4at_i)} \cdot (-4t_i) + \frac{1}{9} e^{(-9at_i)} \cdot (-9t_i) + \frac{1}{16} e^{(-16at_i)} \cdot (-16t_i) \right] \right\} = 0$$

$$n = 5$$

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\sum \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4\alpha t_i)} + \frac{1}{9} e^{(-9\alpha t_i)} + \frac{1}{16} e^{(-16\alpha t_i)} + \frac{1}{25} e^{(-25\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right]^2 = 0$$

$$2 \sum \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} + \frac{1}{4} e^{(-4\alpha t_i)} + \frac{1}{9} e^{(-9\alpha t_i)} + \frac{1}{16} e^{(-16\alpha t_i)} + \frac{1}{25} e^{(-25\alpha t_i)} \right] - SR_{eksperimen i} \right\} * \left\{ \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{(-\alpha t_i)} \cdot (-t_i) + \frac{1}{4} e^{(-4\alpha t_i)} \cdot (-4t_i) + \frac{1}{9} e^{(-9\alpha t_i)} \cdot (-9t_i) + \frac{1}{16} e^{(-16\alpha t_i)} \cdot (-16t_i) + \frac{1}{25} e^{(-25\alpha t_i)} \cdot (-25t_i) \right] \right\} = 0$$

Menggunakan Metode Secant pada MATLAB untuk Mendapatkan α

- Rasio 10 ml/g

Tabel A. 6 Hasil Perhitungan pada Rasio 10 ml/g dengan MATLAB

n	α_1	α_2	α_3	Toleransi	Error
1	0.207	0.46	0.44861	0.001	0.00015818
2			0.44873		0.00015722
3			0.44873		0.00015723
4			0.44873		0.00015723
5			0.44873		0.00015723

- Rasio 30 ml/g

Tabel A. 7 Hasil Perhitungan pada Rasio 30 ml/g dengan MATLAB

n	α_1	α_2	α_3	Toleransi	Error
1	0.5	0.6	0.58695	0.001	0.00057663
2			0.58697		0.00057712
3			0.58697		0.00057712
4			0.58697		0.00057712
5			0.58697		0.00057712

- Rasio 50 ml/g

Tabel A. 8 Hasil Perhitungan pada Rasio 50 ml/g dengan MATLAB

n	α_1	α_2	α_3	Toleransi	Error
1	0.2062	0.5	0.49951	0.001	0.00064153
2			0.49955		0.00063885
3			0.49955		0.00063887
4			0.49955		0.00063887
5			0.49955		0.00063887

Berdasarkan perhitungan pada MATLAB, maka dipilih $n = 2$ untuk perhitungan D_{se} , karena sudah cukup teliti.

Perhitungan SR Model

Dengan mengetahui nilai $\alpha \left(\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} \right)$, maka dapat dilakukan perhitungan SR model menggunakan persamaan (2).

Pada rasio 10 ml/g, saat $t = 1$ jam, untuk $n = 2$:

$$SR = \frac{6}{\pi^2} \left[\frac{1}{1} e^{-\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} t} + \frac{1}{4} e^{-\frac{4 D_{se} \pi^2}{r^2} t} \right]$$

$$SR = \frac{6}{3,14^2} \left[\frac{1}{1} e^{-0,44873 \times 1} + \frac{1}{4} e^{-0,44873 \times 4 \times 1} \right]$$

$$SR = 0,41379$$

Perhitungan SR model dilakukan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g pada waktu 1 sampai 20 jam dengan $n = 1, 2, 3, 4$, dan 5, sehingga didapatkan nilai SR model sesuai dengan tabel berikut :

- Rasio 10 ml/g

Tabel A. 9 Hasil Perhitungan SR Model dengan Metode Regresi Non Linear

Waktu (jam)	SR				
	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	0.38856	0.41379	0.41499	0.41501	0.41501
2	0.24810	0.25224	0.25227	0.25227	0.25227
3	0.15842	0.15906	0.15906	0.15906	0.15906
4	0.10115	0.10122	0.10122	0.10122	0.10122
5	0.06459	0.06457	0.06457	0.06457	0.06457
6	0.04124	0.04121	0.04121	0.04121	0.04121
7	0.02633	0.02631	0.02631	0.02631	0.02631
8	0.01681	0.01680	0.01680	0.01680	0.01680
9	0.01074	0.01072	0.01072	0.01072	0.01072
10	0.00685	0.00685	0.00685	0.00685	0.00685
11	0.00438	0.00437	0.00437	0.00437	0.00437
12	0.00279	0.00279	0.00279	0.00279	0.00279
13	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178
14	0.00114	0.00114	0.00114	0.00114	0.00114
15	0.00073	0.00073	0.00073	0.00073	0.00073
16	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046
17	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030
18	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
19	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012
20	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008

- Rasio 30 ml/g

Tabel A. 10 Hasil Perhitungan SR Model dengan Metode Regresi Non Linear

Waktu (jam)	SR				
	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	0.33836	0.35290	0.35324	0.35324	0.35324
2	0.18814	0.18952	0.18952	0.18952	0.18952
3	0.10461	0.10473	0.10473	0.10473	0.10473
4	0.05816	0.05817	0.05817	0.05817	0.05817
5	0.03234	0.03234	0.03234	0.03234	0.03234
6	0.01798	0.01798	0.01798	0.01798	0.01798
7	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000
8	0.00556	0.00556	0.00556	0.00556	0.00556
9	0.00309	0.00309	0.00309	0.00309	0.00309
10	0.00172	0.00172	0.00172	0.00172	0.00172
11	0.00096	0.00096	0.00096	0.00096	0.00096
12	0.00053	0.00053	0.00053	0.00053	0.00053
13	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030
14	0.00016	0.00016	0.00016	0.00016	0.00016
15	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
16	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005
17	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
18	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
19	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

- Rasio 50 ml/g

Tabel A. 11 Hasil Perhitungan SR Model dengan Metode Regresi Non Linear

Waktu (jam)	SR				
	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	0.36928	0.38989	0.39065	0.39066	0.39066
2	0.22409	0.22687	0.22688	0.22688	0.22688
3	0.13598	0.13635	0.13635	0.13635	0.13635
4	0.08252	0.08256	0.08256	0.08256	0.08256
5	0.05007	0.05007	0.05007	0.05007	0.05007
6	0.03039	0.03038	0.03038	0.03038	0.03038
7	0.01844	0.01843	0.01843	0.01843	0.01843
8	0.01119	0.01119	0.01119	0.01119	0.01119
9	0.00679	0.00679	0.00679	0.00679	0.00679
10	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412
11	0.00250	0.00250	0.00250	0.00250	0.00250
12	0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00152
13	0.00092	0.00092	0.00092	0.00092	0.00092
14	0.00056	0.00056	0.00056	0.00056	0.00056
15	0.00034	0.00034	0.00034	0.00034	0.00034
16	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021
17	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012
18	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008
19	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005
20	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003

Uji Statistik

Untuk mengetahui ketelitian SR model Crank yang didapatkan dari masing-masing metode perhitungan terhadap hasil eksperimen, maka dilakukan uji statistik, yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE).

Pada SR model Crank yang didapatkan dari metode Regresi Linear untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 10 ml/g :

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_{eksperimen\ i} - SR_{model\ i})^2 \right]^{1/2}$$
$$RMSE = \left[\frac{1}{5} ((0,5661 - 0,4949)^2 + (0,0565 - 0,2164)^2 + (0,0400 - 0,0769)^2 + (0,0214 - 0,0274)^2 + (0,0225 - 0,0097)^2) \right]^{1/2}$$
$$RMSE = 0,08023$$

Perhitungan RMSE dilakukan untuk SR model Crank yang didapatkan dari masing-masing metode perhitungan untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g, sehingga didapatkan RMSE sesuai dengan tabel berikut :

Tabel A. 12 Uji Statistik untuk SR model Crank

SR Model Crank	Statistik	Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong (ml/g)		
		10	30	50
Metode Regresi Linear	RMSE	0.08023	0.04519	0.12141
Metode Regresi Non Linear (n = 1)	RMSE	0.08197	0.03590	0.04518
Metode Regresi Non Linear (n = 2)	RMSE	0.07111	0.03009	0.05284
Metode Regresi Non Linear (n = 3)	RMSE	0.07060	0.02996	0.05313
Metode Regresi Non Linear (n = 4)	RMSE	0.07058	0.02996	0.05313
Metode Regresi Non Linear (n = 5)	RMSE	0.07058	0.02996	0.05313

Perhitungan D_{se} ($n = 2$)

Dengan mengetahui nilai $\alpha \left(\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} \right)$, maka dapat dilakukan perhitungan D_{se} sebagai berikut :

- Rasio 10 ml/g

$$\alpha_3 = 0,44873$$

$$\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = 0,44873$$

$$D_{se} = \frac{0,44873 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,44873 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 7,11 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{jam}$$

$$D_{se} = 1,98 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

- Rasio 30 ml/g

$$\alpha_3 = 0,58697$$

$$\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = 0,58697$$

$$D_{se} = \frac{0,58697 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,58697 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 9,30 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{jam}$$

$$D_{se} = 2,58 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

- Rasio 50 ml/g

$$\alpha_3 = 0,49955$$

$$\frac{D_{se} \pi^2}{r^2} = 0,49955$$

$$D_{se} = \frac{0,49955 r^2}{\pi^2}$$

$$D_{se} = \frac{0,49955 \times 1,5625 \times 10^{-8}}{3,14^2} = 7,92 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{jam}$$

$$D_{se} = 2,20 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

A.5 Model Empiris

Dalam penelitian ini, peristiwa penurunan kadar sianida pada proses pencucian daun singkong dapat dimodelkan berdasarkan hukum kedua Fick tentang difusi, yang dinyatakan dalam persamaan model Crank. Selain itu, peristiwa *leaching* sianida dalam penelitian ini serupa dengan peristiwa *drying*, sehingga dapat dilakukan pendekatan perhitungan hasil eksperimen dengan beberapa model empiris, antara lain model Page dan Modified Henderson-Pabis, yang merupakan *thin layer drying model* (Quispe-Fuentes et al., 2012). Hal ini bertujuan untuk mengetahui model empiris yang sesuai dengan hasil eksperimen ini.

Tabel A. 13 Kinetika dan Parameter Empiris dari Model yang Dipilih untuk Simulasi Ekstraksi Sianida

Model Empiris		Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong (ml/g)		
		10	30	50
Page	n2	0.97556	0.81964	0.45796
	k3	0.57134	0.88878	1.26141
Modified Page	n3	0.97556	0.81964	0.45796
	k4	0.56338	0.86602	1.66047
Logarithmic	C	0.02327	0.01701	0.03488
	n5	0.97940	0.98278	0.96509
	k6	0.60166	0.91101	1.33556
Two Term	n6	0.38452	0.03219	0.05965
	k7	0.75908	0.05142	0.04502
	n7	0.61625	0.96788	0.94037
	k8	0.47307	0.93291	1.40205
Modified Henderson-Pabis	n8	0.09896	0.26723	0.05964
	k9	0.16948	0.45090	0.04502
	n9	0.24753	0.22966	0.29887
	k10	0.46526	1.00964	1.40241
	n10	0.66260	0.50017	0.64150
	k11	0.70711	1.08919	1.40187
Midilli–Kučuk	n11	1.00014	1.00002	1.00010
	n12	1.02097	0.85480	0.55723
	k12	0.57271	0.89012	1.25253
	C	0.00156	0.00082	0.00152
Weibull	α	0.97556	0.81964	0.45796
	β	1.77499	1.15471	0.60224

Dengan menggunakan SOLVER pada Excel, maka didapatkan nilai parameter empiris seperti yang tersaji pada **Tabel A. 12**. Kemudian, untuk mengetahui ketelitian setiap model terhadap hasil eksperimen, maka dilakukan uji statistik, yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Sum Square Error* (SSE).

Perhitungan RMSE pada SR yang didapatkan dari model Page untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 10 ml/g :

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_{eksperimen\ i} - SR_{model\ i})^2 \right]^{1/2}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{6} ((1 - 1)^2 + (0,5661 - 0,5648)^2 + (0,0565 - 0,0642)^2 + (0,0400 - 0,0045)^2 + (0,0214 - 0,0003)^2 + (0,0225 - 0,0000)^2) \right]^{1/2}$$

$$RMSE = 0,01945$$

Perhitungan SSE pada SR yang didapatkan dari model Page untuk rasio volume air terhadap massa daun singkong 10 ml/g :

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_{eksperimen\ i} - SR_{model\ i})^2$$

$$SSE = \frac{1}{6} ((1 - 1)^2 + (0,5661 - 0,5648)^2 + (0,0565 - 0,0642)^2 + (0,0400 - 0,0045)^2 + (0,0214 - 0,0003)^2 + (0,0225 - 0,0000)^2)$$

$$SSE = 0,00038$$

Perhitungan RMSE dan SSE dilakukan untuk SR yang didapatkan dari masing-masing model empiris untuk rasio 10, 30, dan 50 ml/g, sehingga didapatkan RMSE dan SSE sesuai dengan tabel berikut :

Tabel A. 14 Uji Statistik untuk Model yang Dipilih untuk Simulasi Ekstraksi Sianida

Model Empiris	Statistik	Rasio Volume Air terhadap Massa Daun Singkong (ml/g)		
		10	30	50
Page	RMSE	0.01945	0.01328	0.01898
	SSE	0.00038	0.00018	0.00036
Modified Page	RMSE	0.01945	0.01328	0.01898
	SSE	0.00038	0.00018	0.00036
Logarithmic	RMSE	0.00899	0.00872	0.01239
	SSE	0.00008	0.00008	0.00015
Two Term	RMSE	0.01927	0.00761	0.01009
	SSE	0.00037	0.00006	0.00010
Modified Henderson-Pabis	RMSE	0.01755	0.01392	0.01009
	SSE	0.00031	0.00019	0.00010
Midilli-Kuçük	RMSE	0.00977	0.00993	0.01374
	SSE	0.00010	0.00010	0.00019
Weibull	RMSE	0.01945	0.01328	0.01898
	SSE	0.00038	0.00018	0.00036

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Claudya Patricia Caesy, putri dari pasangan Bapak Dayani Polii dan Ibu Ria Novijanti. Lahir pada tanggal 25 Agustus 1995 di Jakarta. Penulis mulai mengenyam pendidikan di SD Melania Jakarta (2001-2007), SMP ASISI Jakarta (2007-2010), SMA Negeri 8 Jakarta (2010-2013), dan S1 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya (2013-2018) yang kemudian pada tahun 2017 mulai melakukan penelitian di Laboratorium Teknologi Biokimia dan menulis karya berjudul : “Studi Kinetika Penurunan Kadar Sianida pada Proses Pencucian Daun Singkong (*Manihot utilissima*)”. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Rekayasa Industri Jakarta.

Email penulis : claudyacaesy@gmail.com

No. HP : 081287111819



Christa Kathleen Sitania, putri dari pasangan Bapak Jordan Christoffel Sitania dan Ibu Linda Lusiyanti Sinjal. Lahir di Surabaya pada tanggal 29 Juli 1995. Penulis mulai mengenyam pendidikan di SDN Dukuh Menanggal IV/552 Surabaya (2001-2007), SMP Negeri 22 Surabaya (2007-2010), SMA Negeri 15 Surabaya (2010-2013), dan S1 Teknik Kimia FTI-ITS (2013-2018) yang kemudian pada tahun 2017 mulai melakukan penelitian di Laboratorium Teknologi Biokimia dan menulis karya berjudul : “Studi Kinetika Penurunan Kadar Sianida pada Proses Pencucian Daun Singkong (*Manihot utilissima*)”. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

Email penulis : christaaks@gmail.com

No. HP : 087841718980