

DISERTASI

**MODIFIKASI PATI GANYONG (*Canna edulis* Kerr.)
DENGAN *HEAT MOISTURE TREATMENT* DAN
PENAMBAHAN GUM XANTHAN UNTUK
PRODUK ROTI**

***MODIFICATION OF CANNA STARCH BY USING
HEAT MOISTURE TREATMENT AND ADDITION OF
XANTHAN GUM FOR BAKERY PRODUCT***



Parwiyanti
NIM 05123601012

PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2017

RINGKASAN

PARWIYANTI. Modifikasi Pati Ganyong dengan *Heat Moisture Treatment* dan Penambahan Gum Xanthan untuk Produk Roti. (Promotor **FILLI PRATAMA, AGUS WIJAYA, NURA MALAHAYATI**).

xvii + 171 halaman, 36 tabel, 19 gambar, 20 lampiran

Modifikasi pati ganyong dengan perlakuan *heat moisture treatment* (HMT) dan penambahan gum xanthan (GX) dilakukan untuk memperbaiki sifat pati ganyong alami sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku produk roti. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan tiga faktor perlakuan untuk sifat fisik, dua faktor perlakuan untuk profil pasta, dan satu faktor untuk formulasi adonan roti. Ulangan percobaan tiga kali. Faktor pertama (A) adalah suhu (80°C dan 100°C), faktor ke dua (B) adalah lama pemanasan (8 dan 16 jam) dan faktor ke tiga (C) adalah konsentrasi gum xanthan (0; 0,5; 1; 1,5; 2% b/b). Faktor perlakuan untuk formulasi adonan roti yaitu jenis pati (pati ganyong termodifikasi HMT-GX, pati ganyong termodifikasi HMT, pati ganyong alami yang ditambah gum xanthan 1,5%, pati ganyong alami, pati jagung, tepung terigu). Parameter yang diamati pada sifat fisik adalah *swelling power* (SP), indeks kelarutan dalam air (IKA), indeks absorpsi air (IAA), derajat pengembangan (DP), densitas kamba (DK), tekstur gel dan morfologi granula pati. Profil gel meliputi suhu gelatinisasi, waktu gelatinisasi, viskositas puncak, viskositas akhir, *breakdown*, dan *setback*. Parameter karakteristik produk roti meliputi volume spesifik, warna, tekstur, rasio tinggi/diameter roti, analisa sensoris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), serta interaksi antara perlakuan AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap SP, IAA, tekstur gel, DK, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap DP. Perlakuan suhu HMT (A), konsentrasi GX (C), dan interaksi antara AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap IKA pati ganyong termodifikasi HMT-GX, sedangkan waktu HMT (B) berpengaruh tidak nyata. Perlakuan terbaik sebagai bahan baku roti adalah perlakuan dengan suhu HMT 80°C, waktu HMT 8 jam, dan konsentrasi gum xanthan 1,5% (b/b). Sifat fisik pati ganyong termodifikasi tersebut adalah SP 17,41±0,49 g/g, IKA 7,81±0,98 %, IAA 123,67±0,21 %, DP 1,19±0,19 mL/g, densitas kamba 0,73±0,01 g/mL, dan tekstur 57,20±2,69 gf. Modifikasi dengan HMT dan penambahan gum xanthan tidak mengubah morfologi granula pati ganyong. Profil pasta perlakuan terbaik adalah suhu gelatinisasi 72,25±0,23°C; waktu gelatinisasi 6,16±0,04 menit, viskositas puncak 4556±107,01 cP, viskositas akhir 5141±64,00 cP, *breakdown* 2235±27,51 cP, *setback* 2818±15,52 cP yang menghasilkan produk roti dengan karakteristik volume spesifik 2,85±0,017 cm³/g, warna (*L*,a*,b** berturut-turut 75,13; +9,370; +29,40), tekstur 109,03±7,50 gf, rasio tinggi/diameter roti 0,74, skor hedonik untuk rasa, warna, tekstur dan aroma berturut-turut 5,34; 5,46; 5,56, dan 5,80 (5 = agak suka; 6 = suka).

Kata kunci : gum xanthan, *heat moisture treatment*, modifikasi, pati ganyong.

Kepustakaan: 68 (1982-2016)

SUMMARY

PARWIYANTI. Modification of *Canna* Starch by Using *Heat Moisture Treatment* and Addition of Xanthan Gum for Bakery Product. (Promoted by **FILLI PRATAMA, AGUS WIJAYA, and NURA MALAHAYATI**).

xvii + 171 pages, 36 tables, 19 figures, 20 attachments

Modification of *canna* starch by using heat moisture treatment (HMT) and addition of xanthan gum (XG) aimed to improve the natural properties of *canna* starch for a wider application for bakery products. The research was designed as factorial completely randomized design with three factors as treatments for physical properties, two factors for pasting profile, and one factor for bread dough formulation. Each combinations of the factor was repeated three times. The first factor (A) was temperature (80°C and 100°C), the second treatment (B) was heating period (8 and 16 hours) and the third factor (C) was the concentration of xanthan gum (0; 0.5; 1; 1.5; 2% w/w). For bread dough formulation with one factor of starch's type as treatment (HMT-GX and HMT modified *canna* starches, natural *canna* starch with and without 1.5% of xanthan gum added, corn starch, wheat flour as control). The parameters were *swelling power* (SP), water soluble index (WSI), water absorption index (WAI), volume expansion (VE), density, texture, starch granule's morphology, pasting profile, for bread were specific volume, color, texture, ration between height and diameter of bread, and sensory analysis. The results showed that heating temperature, heating time, concentration of xanthan gum and the interaction of three factors had significant effects on all physical properties parameters except for volume expansion and heating time on WSI. The best treatment for bakery product was found to be the treatment of *canna* starch modified by heating temperature of 80°C, 8 hours of heating time, and 1.5% (w/w) of xanthan gum added. The physical properties of the modified *canna* starch were 17.41±0.49 g/g for SP, 7.81±0.98 % for WSI, 123.67±0.21 % for WAI, 1.19±0.19 mL/g for volume expansion, 0.73±0.01 g/mL for density and 57.20±2.69g for texture. The morphology of starch granule showed that there was no significant change on the morphology of modified starch granule. The pasting profile were 72.25 ± 0,23°C for gelatinization temperature; 6.16 ± 0.04 minutes for gelatinization time, 4556 ± 107.01 cP for peak viscosity, 5141 ± 64.00 cP for final viscosity, 2235±27,51 cP for *breakdown*, and 2818 ± 15.52 cP for *setback*. The characteristics of bread were 2.85 ± 0.017 cm³/g for specific volume, color (*L* *, *a* *, *b* * were 75.13; +9.370; +29.40, respectively), 109.03 ± 7.50 g_f for texture, 0.74 for ratio between height and diameter of bread, average hedonic scores for taste, color, texture and aroma were 5.34; 5.46; 5.56 and 5.80 respectively (5= little like; 6=like).

Key words : *Canna* starch, *heat moisture treatment*, modified, xanthan gum.

Citations : 68 (1982-2016)

DISERTASI

**MODIFIKASI PATI GANYONG (*Canna edulis* Kerr.)
DENGAN *HEAT MOISTURE TREATMENT* DAN
PENAMBAHAN GUM XANTHAN UNTUK
PRODUK ROTI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor (Dr)
dalam Bidang Teknologi Industri Pertanian
pada Program Doktor Ilmu Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya



Oleh:
Parwiyanti
NIM 05123601012

PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

**MODIFIKASI PATI GANYONG (*Canna edulis* Kerr.)
DENGAN *HEAT MOISTURE TREATMENT* DAN PENAMBAHAN
GUM XANTHAN UNTUK PRODUK ROTI**

DISERTASI

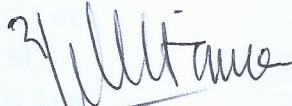
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Doktor

Oleh:

Parwiyanti
NIM 05123601012

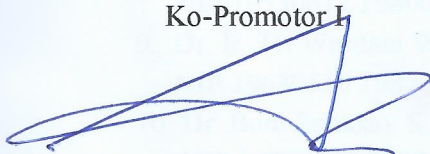
Palembang, Januari 2017

Promotor



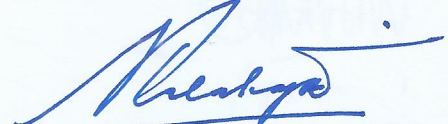
Prof. Ir. Filly Pratama, M.Sc (Hons), Ph. D.
NIP 196606301992032002

Ko-Promotor I



Dr. rer.nat. Ir. Agus Wijaya, M.Si.
NIP 196808121993021006

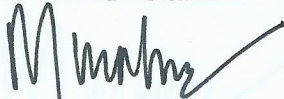
Ko-Promotor II



Ir. Nura Malahayati, M.Sc. Ph.D.
NIP 196201081987032008

Mengetahui

Ketua Program Studi Doktor
Ilmu Pertanian



Dr. Ir. M Umar Harun, M.S.
NIP 196212131988031002

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Erizal Sodikin
NIP 196002111985031002

Disertasi dengan judul “ Modifikasi pati ganyong (*Canna edulis* Kerr.) dengan *heat moisture treatment* dan penambahan gum xanthan untuk produk roti” oleh Parwiyanti telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Disertasi Program Doktor Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada tanggal 26 Januari 2017 dan telah diperbaiki sesuai saran dan masukan dari tim penguji.

Tim Penguji

Ketua:

1. Prof. Ir. Filli Pratama, M.Sc (Hons), Ph. D.
NIP 19660630 199203 2 002

(*Filli Pratama*)

Anggota:

2. Dr. rer. nat. Ir. Agus Wijaya, M.Si
NIP 19680812 199302 1 006
3. Ir. Nura Malahayati, M.Sc. Ph.D.
NIP 19620108 198703 2 008
4. Prof. Dr. Ir. Umar Santoso, M.Sc.
NIP 19590217 198503 1 002
5. Prof. Dr. Ir. Rindit Pambayun, M.P.
NIP 19561204 198601 1 001
6. Dr. Ir. Gatot Priyanto, M.S.
NIP 19600529 198403 1 004
7. Dr. Ir. Umi Rosidah, M.S.
NIP 19601120 198603 2 001
8. Prof. Dr. Basuni Hamzah, M.Sc.
NIP 19530612 198003 1 005
9. Dr. Ir. Tri Wardani Widowati, M.P.
NIP 19630510 198701 2 001
10. Dr. Budi Santoso, S.T.P., M.Si.
NIP 19750610 200212 1 002

(*Agus Wijaya*)
(*Nura Malahayati*)
(*Umar Santoso*)
(*Rindit Pambayun*)
(*Gatot Priyanto*)
(*Umi Rosidah*)
(*Basuni Hamzah*)
(*Tri Wardani Widowati*)
(*Budi Santoso*)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Doktor
Ilmu Pertanian

(*M Umar Harun*)

Dr. Ir. M Umar Harun, M.S.
NIP 196212131988031002

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Erizal Sodikin
NIP 196002111985031002

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Parwiyanti
NIM : 05123601012
Judul : Modifikasi pati ganyong (*Canna edulis* Kerr.) dengan
heat moisture treatment dan penambahan gum xanthan
untuk produk roti

Menyatakan bahwa semua data dan informasi yang dimuat di dalam disertasi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri di bawah supervise pembimbing, kecuali yang disebutkan dengan jelas sumbernya. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya unsur plagiasi dalam disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak mendapat paksaan dari pihak manapun.

Palembang, Januari 2017

(Parwiyanti)

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Penulis dilahirkan di Wonogiri Jawa Tengah pada tanggal 25 Juli 1960, anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Suparto (Alm.) dan ibu Sumini (Alm.). Penulis menikah dengan Bapak Djoko Isdioyo (Alm.) dan telah dikaruniai tiga anak yaitu Mas Ajeng Puspito Palupi, Mas Ajeng Puspito Astuti, dan Masrahadyan Panuntun Adiluhung.

Pendidikan diselesaikan di Sekolah Dasar Negeri di Cepu pada tahun 1973, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 di Cepu pada tahun 1975, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 di Blora pada tahun 1979, Sarjana S1 di Jurusan Pengolahan Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 1984.

Bekerja di Universitas Sriwijaya sebagai dosen di Fakultas Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian sejak tahun 1986 sampai sekarang. Pada tahun 1989 memperoleh kesempatan mengikuti pendidikan S2 pada Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada pada Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, lulus tahun 1993. Pada tahun 2012 kembali mendapat kesempatan menempuh pendidikan S3 di Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada bidang kajian utama Teknologi Industri Pertanian.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah dipanjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya, sholawat dan salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sehingga saya dapat menyelesaikan disertasi berjudul Modifikasi Pati Ganyong dengan *Heat Moisture Treatment* dan Penambahan Gum Xanthan untuk Produk Roti. Selama masa perkuliahan, penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian dan penulisan disertasi penulis mendapat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu saya mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat

1. Ibu Prof. Ir. Filli Pratama, M.Sc (Hons), Ph.D., bapak Dr.rer.nat.Ir. Agus Wijaya, M.Si, dan ibu Ir. Nura Malahayati, M.Sc., Ph.D, selaku promotor dan ko promotor atas keiklasannya meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan motivasi dan mengarahkan penulis sejak mengikuti kuliah, penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian, penulisan makalah seminar hingga penulisan disertasi.
2. Prof. Dr. Ir. Rindit Pambayun, M.P., Prof. Dr. Ir. Tamrin Latief, M.Si., Dr. Ir. Gatot Priyanto, M.S., Dr. Ir. Basuni Hamzah, M.Sc., Dr. Ir. Umi Rosidah, M.S., Dr.Ir. Tri Wardani Widowati, M.P., Dr. Budi Santoso, S.TP., M.Si. selaku dosen penguji pada seminar proposal penelitian, seminar kemajuan, dan seminar hasil disertasi, ujian tertutup, dan ujian terbuka yang telah memberikan masukan, dukungan moril dan menambah wawasan keilmuan Teknologi Industri Pertanian.
3. Prof. Dr. Ir. Umar Santoso, M.Sc. selaku dosen penguji tamu dari Universitas Gadjah Mada pada ujian tertutup dan ujian terbuka yang telah memberikan saran dan menambah wawasan keilmuan Teknologi Industri Pertanian.
4. Dr. Ir. Erizal Sodikin selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Dr. Ir. Umar Harun, MS selaku Ketua Progran Studi Doktor Bidang Ilmu Pertanian, dan Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya beserta seluruh staff administrasi dan staff laboratorium, terima kasih atas segala fasilitas layanan yang telah diberikan selama mengikuti kuliah.

5. Rektor Universitas Sriwijaya, Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff. MSCE yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan Doktor di Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh dosen Program Studi Ilmu Pertanian, khususnya dosen pada Program Teknologi Industri Pertanian, terima kasih atas segala ilmu dan dukungannya.
7. Pimpinan dan civitas akademika di Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya atas dukungan dan semangat kebersamaan selama ini.
8. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa S3 Ilmu Pertanian Unsri atas persahabatan, bantuan dan kebersamaan kita selama ini.
9. Kedua orang tua (Bapak Suparto Alm., Ibu Sumini Alm.), suami (Djoko Isdiono Alm.), anak-anak saya (Masajeng Puspito Palupi, Masajeng Puspito Astuti, Masrahadyan Panuntun Adiluhung) atas doa, cinta dan dukungannya selama mengikuti pendidikan S3. Semoga menjadi motivasi ananda untuk terus menuntut ilmu.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam pendidikan saya di Pascasarjana Universitas Sriwijaya.

Demikianlah, ucapan terimakasih ini disampaikan, semoga Allah SWT membalas semua budi baik Bapak dan Ibu. Saya menyadari keterbatasan ilmu yang dimiliki, namun demikian semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya kajian Teknologi Industri Pertanian.

Palembang, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSETUJUAN KOMISI PENGUJI	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Hipotesis	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Umbi Ganyong.....	4
2.2. Pati Ganyong	6
2.3. <i>Heat-Moisture Treatment</i> (HMT).....	13
2.4. Gum Xanthan.....	16
2.5. Produk Roti.....	18
BAB 3. PELAKSANAAN PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu	21
3.2. Bahan dan Alat.....	21
3.2.1. Bahan.....	21
3.2.2. Alat.....	21
3.3. Metode Penelitian	21

3.3.1. Tahapan Penelitian	21
3.3.2. Prosedur Penelitian	23
3.3.2.1. Tahap 1. Modifikasi Pati Ganyong dengan HMT dan Gum xanthan	23
3.3.2.2. Tahap 2. Analisis Profil Gel dan Struktur Granula Pati	24
3.3.2.3. Tahap 3. Aplikasi Pati Ganyong Termodifikasi Terpilih pada Pengolahan Roti Bebas Gluten	25
3.4. Prosedur Analisis	26
3.5. Analisa Statistik	30
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Karakteristik Fisik Pati Ganyong Termodifikasi HMT dan penambahan GX	33
4.1.1. <i>Swelling Power</i>	33
4.1.2. Indeks Kelarutan dalam Air (IKA)	38
4.1.3. Indeks Absorpsi Air (IAA).....	42
4.1.4. Derajat Pengembangan (DP) Pati	46
4.1.5. Densitas Kamba	48
4.1.6. Tekstur Gel Pati	52
4.2. Profil Pasta	55
4.2.1. Suhu dan Waktu Gelatinisasi	55
4.2.2. Viskositas Puncak dan Viskositas Akhir	60
4.2.3. <i>Breakdown</i>	62
4.2.4. <i>Setback</i>	64
4.3. Struktur Granula Pati Ganyong	65
4.4. Pemilihan Perlakuan Terbaik sebagai Bahan Baku Roti	66
4.5. Aplikasi Pati Ganyong Termodifikasi Pada Produk Roti	67
4.5.1. Volume Spesifik Roti	67
4.5.2. Warna Roti	68
4.5.3. Tekstur Roti	69
4.5.4. Rasio Tinggi dan Diameter Roti	70
4.6. Analisis Sensoris Formula Roti Ganyong	71

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	80

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Kandungan gizi setiap 100 g umbi ganyong segar	6
2.2. Kandungan zat gizi tepung dan pati ganyong	7
2.3. Sifat fisik tepung dan pati ganyong	10
2.4. Sifat gel pati ganyong yang diukur menggunakan <i>Brabender Visco Amylograph</i> (BVA) dan <i>Rapid Visco Analyzer</i> (RVA)	12
2.5. Sifat termal pati ganyong yang diukur menggunakan <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	12
2.6. Sifat fisikokimia gum xanthan	18
3.1. Formulasi bahan untuk membuat roti	25
4.1. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A), waktu HMT (B), dan konsentrasi GX (C) terhadap <i>Swelling Power</i> pati ganyong termodifikasi HMT-GX	34
4.2. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap <i>Swelling Power</i> (SP) pati ganyong termodifikasi HMT-GX	36
4.3. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX	38
4.4. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap IKA pati ganyong termodifikasi HMT-GX	39
4.5. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap Indeks Kelarutan dalam Air pati ganyong termodifikasi HMT-GX	41
4.6. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap Indeks kelarutan dalam Air (IKA) pati ganyong termodifikasi HMT-GX	42
4.7. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A), waktu HMT (B), dan konsentrasi GX (C) terhadap Indeks Absorpsi Air (IAA) (%) pati ganyong termodifikasi HMT-GX	43
4.8. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap Indeks Absorpsi Air pati ganyong termodifikasi HMT-GX	45

4.9. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT (A), waktu HMT (B) dan konsentrasi GX (C) terhadap Indeks Absorpsi Air (IAA) pati ganyong termodifikasi HMT-GX	46
4.10. Hasil uji BNJ pengaruh waktu HMT (B) dan konsentrasi GX (C) terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX ..	49
4.11. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX	50
4.12. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX	51
4.13. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A), waktu HMT (B), dan konsentrasi GX (C) terhadap tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX	53
4.14. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap tekstur pati ganyong termodifikasi HMT-GX.	54
4.15. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap tekstur pati ganyong termodifikasi HMT-GX	55
4.16. Profil gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX, pati ganyong alami, dan tepung terigu	57
4.17. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap suhu dan waktu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX	57
4.18. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) terhadap suhu dan waktu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX	59
4.19. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap viskositas puncak dan viskositas akhir pati ganyong termodifikasi HMT-GX	60
4.20. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) terhadap viskositas puncak dan viskositas akhir pati ganyong termodifikasi HMT-GX	61
4.21. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap <i>breakdown</i> pati ganyong termodifikasi HMT-GX	63
4.22. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) terhadap <i>breakdown</i> pati ganyong termodifikasi HMT-GX	64
4.23. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap nilai <i>setback</i> pati ganyong termodifikasi HMT-GX	64

4.24. Perbandingan Sifat Fisik Pati Ganyong Alami dan Pati Ganyong Termodifikasi HMT-GX	67
4.25. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap volume spesifik roti .	68
4.26. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap warna (L^* , a^* , b^*) roti	69
4.27. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap tekstur roti	70
4.28. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap rasio tinggi dan diameter roti	70
4.29. Hasil uji hedonik roti yang dibuat dari pati ganyong	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Umbi ganyong merah (a) dan ganyong putih (b)	5
2.2. Umbi ganyong umur 7 bulan	5
2.3. Metode pembuatan pati dan tepung ganyong	8
2.4. Granula pati ganyong	9
2.5. Struktur granula pati	9
2.6. Profil pasta pati ganyong	12
2.7. <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC) pati	13
2.8. Struktur gum xanthan	17
3.1. Bagan alir penelitian	22
3.2. Profil gelatinisasi pati dengan RVA	28
4.1. <i>Swelling power</i> pati ganyong termodifikasi HMT- GX	33
4.2. IKA pati ganyong termodifikasi HMT dan GX	39
4.3. IAA pati ganyong termodifikasi HMT dan GX	43
4.4. Derajat Pengembangan pati ganyong termodifikasi HMT dan GX.	47
4.5. Rerata densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT dan GX..	48
4.6. Rerata tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT dan GX	52
4.7. Profil gel pati ganyong pada suhu HMT 80 ⁰ C	56
4.8. Profil gel pati ganyong pada suhu HMT 100 ⁰ C	56
4.9. SEM pati ganyong alami, pati ganyong modifikasi HMT 80 ⁰ C, 8 jam, GX 0%, HMT 80 ⁰ C, 8 jam, GX 2%, HMT 100 ⁰ C, 8 jam, GX 0%, HMT 100 ⁰ C, 8 jam, GX 2% perbesaran 500x.	66

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Data analisis swelling power pati ganyong	80
2. Data analisa indeks kelarutan dalam air (IKA) pati ganyong	88
3. Data analisa Indeks Absorpsi Air (IAA) pati ganyong	96
4. Data analisa desitas kamba pati ganyong	104
5. Data analisa tekstur pati ganyong	112
6. Data analisa suhu gelatinisasi pati ganyong	120
7. Data analisa waktu gelatinisasi pati ganyong modifikasi	124
8. Data analisa viskositas puncak pati ganyong modifikasi	127
9. Data analisa viskositas akhir pati ganyong modifikasi	131
10. Data analisa <i>breakdown</i> pati ganyong modifikasi	135
11. Data analisa <i>setback</i> pati ganyong modifikasi	139
12. Data analisa VP roti ganyong	143
13. Data analisa warna roti ganyong	145
14. Data analisa tekstur roti ganyong	150
15. Data analisa rasio tinggi/diameter roti ganyong	152
16. Lembar Kuisisioner Uji hedonik roti	154
17. Hasil uji hedonik terhadap rasa	155
18. Hasil uji hedonik terhadap tekstur	160
19. Hasil uji hedonik terhadap warna	164
20. Hasil uji hedonik terhadap aroma	168

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ganyong (*Canna edulis* Kerr.) merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang potensial dikembangkan di Indonesia. Tanaman ini mudah dibudidayakan, tahan hidup di lahan kering, dan di bawah naungan pohon sehingga dapat menjadi tanaman sela di areal perkebunan (Widjajaputra, 2007; Ariesta *et al.*, 2004), dengan produktivitas sekitar 33 ton/ha/thn (Suhartini dan Hadiatmi, 2010). Umbi ganyong sebagian besar dikonsumsi dengan cara perebusan. Selain itu, umbi ganyong dapat diolah menjadi tepung dan pati yang selanjutnya digunakan sebagai bahan baku atau bahan tambahan pada industri pangan (Widjajaputra, 2007; Slamet, 2010). Produk olahan pati ganyong yang sudah ada saat ini diantaranya adalah *cookies*, cendol (Harmayani *et al.*, 2011), dan bihun (Chansri *et al.*, 2005). Produk olahan berbahan pati ganyong diperlukan oleh anak berkebutuhan khusus, seperti autis dan penderita *celiac* karena tidak mengandung gluten.

Pati ganyong tergolong pati berkadar amilosa tinggi (Soni *et al.*, 1990), struktur kristalin tipe B, viskositas tinggi, mudah teretrogradasi, dan membentuk gel (Watcharatewinkul *et al.*, 2009). Sifat pati ganyong yang mudah teretrogradasi dan memiliki viskositas tinggi membatasi penggunaan pati ganyong pada industri pengolahan pangan. Pangan berbahan pati ganyong mudah mengeras pada suhu ruang sehingga pati ganyong lebih banyak digunakan sebagai bahan pembentuk gel. Untuk memperluas penggunaan pati ganyong dalam industri pangan, khususnya produk roti, perlu dilakukan modifikasi. Roti merupakan makanan yang telah dipilih sebagai menu sarapan sebagian orang Indonesia karena praktis, tidak memerlukan persiapan yang lama, dan dapat memenuhi kebutuhan energi.

Modifikasi pati dapat dilakukan dengan cara fisik, kimia, enzimatis dan genetik (Kaur *et al.*, 2012). Modifikasi pati secara fisik lebih baik untuk diaplikasikan karena ramah lingkungan dan aman. Beberapa macam modifikasi pati secara fisik diantaranya adalah *Heat-Moisture Treatment* (HMT), *Annealing* (ANN), pre-gelatinisasi, *High Hydrostatic Pressure* (HHP) dan *High Power Ultrasound* (HPU) (Ashogbon dan Akintayo, 2014). Pati termodifikasi HMT

berpotensi untuk dibuat menjadi produk roti. Tekstur roti bebas gluten dengan bahan tapioka HMT lebih lembut dibandingkan dengan yang terbuat dari tapioka alami (Onyango *et al.*, 2013). Kelemahan pati termodifikasi HMT untuk produk roti adalah roti yang dihasilkan tidak mengembang. Untuk meningkatkan daya mengembang, *bread improver* perlu ditambahkan selama pengolahan roti berbahan dasar pati dan tepung selain terigu. Salah satu bahan tambahan pangan yang dapat berfungsi sebagai *bread improver* adalah gum xanthan (Gambus *et al.*, 2007; Turabi *et al.*, 2010; Peressini *et al.*, 2011; Palaniraj and Jayaraman, 2011).

Gum xanthan merupakan hidrokoloid yang dihasilkan oleh *Xanthomonas campestris* secara fermentasi (Gomashe *et al.*, 2013). Struktur molekul gum xanthan adalah heteropolisakarida yang tersusun oleh 2 unit glukosa, 2 unit manosa, 1 unit asam glukuronik, piruvat dan asetil (Freitas *et al.*, 2011; Morris, 2006; Gomashe *et al.*, 2013). Rantai samping struktur gum xanthan terdiri dari 2 gugus manosa dan asam glukuronat yang membentuk struktur helix dan melindungi rantai utama glukosa. Struktur *helix* gum xanthan merupakan salah satu struktur kimia yang menyebabkan larutan gum xanthan stabil pada kisaran pH dan suhu yang luas serta resisten terhadap degradasi enzimatik (Palaniraj dan Jayaraman, 2011).

Modifikasi pati ganyong yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kombinasi HMT dan penambahan gum xanthan untuk menghasilkan pati ganyong dengan struktur granula pati yang kuat (tidak mudah *collapse*) dan mengembang. Modifikasi kombinasi HMT dan gum xanthan pada pati ganyong diharapkan dapat mengubah karakteristik pati ganyong sehingga dapat diaplikasikan secara luas baik sebagai bahan baku atau bahan tambahan dalam industri pangan, terutama produk roti. Pati ganyong termodifikasi yang dihasilkan lebih praktis penggunaannya untuk membuat produk roti, seperti halnya produk *self raising wheat flour*. Faktor yang mempengaruhi perubahan karakteristik fisiko-kimia dan fungsional pati HMT adalah kondisi pati (jenis pati, kadar amilosa, tipe kristalisasi pati) dan kondisi proses (kadar air pati, suhu, dan lama waktu proses HMT) (Syamsir *et al.*, 2012).

1.2. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis sifat fisik pati ganyong hasil modifikasi HMT dan penambahan gum xanthan, meliputi *swelling power*, indeks kelarutan dalam air, indeks absorpsi air, derajat pengembangan, densitas kamba dan tekstur gel pati.
2. Menganalisis pengaruh modifikasi HMT dan penambahan gum xanthan terhadap profil gel dan struktur granula pati ganyong.
3. Menganalisis karakteristik fisik dan sensoris roti berbahan dasar pati ganyong termodifikasi HMT-GX.

1.3. Hipotesis

1. Sebagai bahan baku roti, pati ganyong termodifikasi HMT dan penambahan gum xanthan terpilih mempunyai sifat fisik yang lebih baik dibandingkan pati ganyong alami.
2. Diduga pati ganyong termodifikasi HMT-GX memiliki viskositas dan ketahanan panas lebih tinggi serta retrogradasi lebih rendah dibandingkan pati ganyong alami.
3. Pati ganyong termodifikasi HMT dan gum xanthan menghasilkan roti bebas gluten yang lebih lembut dan lebih mengembang dibandingkan dengan pati ganyong alami.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umbi Ganyong

Beragam jenis tanaman umbi-umbian tumbuh di Indonesia, salah satunya ganyong (*Canna edulis* Kerr.). Ganyong bukan merupakan tanaman asli Indonesia tetapi berasal dari Amerika Selatan (Suhartini dan Hadiatmi, 2010). Tanaman ganyong sudah dibudidayakan di Cina, Taiwan, dan Vietnam untuk bahan baku industri pati (Puncharnon *et al.*, 2007). Di Indonesia, tanaman ganyong sudah dikembangkan di Jogjakarta, Malang, Bogor, dan Ciamis. Di Sumatera Selatan, tanaman ganyong dapat ditemukan di daerah Pagar Alam dan Indralaya, namun belum merupakan tanaman yang dibudidayakan. Ganyong merupakan tanaman umbi-umbian yang dapat tumbuh pada hampir semua tipe tanah, tingginya mencapai 0,9 hingga 1,8 m. Tanaman ganyong termasuk dalam Divisi: *Spermatophyta*, sub divisi: *Angiospermae*, kelas: *Monocotyledoneae*, ordo: *Zingiberales*, family: *Cannaceae*, genus : *Canna*, spesies : *Canna edulis* Kerr. (Koswara, 2014). Pengembangan tanaman ganyong dapat memberikan kontribusi dalam mengatasi dua masalah, yaitu mengurangi konsumsi beras dan impor terigu yang terus meningkat.

Berdasarkan karakteristik kualitatif, tanaman ganyong dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu ganyong merah dan ganyong putih. Ganyong merah ditandai dengan warna daun hijau kemerahan, pinggiran daun ungu kemerahan, tangkai dan pelepah daun berwarna merah hingga ungu, warna bunga merah, sisik umbi kecoklatan hingga ungu, sedangkan ganyong putih dicirikan dengan warna daun hijau terang, tangkai dan pelepah daun berwarna hijau, warna bunga kuning dan orange, dan warna sisik umbi kecoklatan (Suhartini dan Hadiatmi, 2010; Widjajaputra, 2007; Ariesta, *et al.*, 2004; Piyachomkwan, *et al.*, 2002). Perbedaan umbi ganyong merah dan putih dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Bagian tanaman ganyong yang mempunyai nilai ekonomis tinggi adalah umbinya. Umbi ganyong sebenarnya merupakan rimpang tanaman. Umbi ganyong disebut sebagai akar tinggal atau rizoma. Umbi ganyong dapat dipanen setelah tanaman berumur delapan sampai sepuluh bulan. Tanda yang mudah dikenali kalau umbi ganyong siap panen adalah mengeringnya batang dan daun. Umbi ganyong memiliki bagian kulit luar yang

keras dan bagian daging yang berserat dengan bentuk seperti lengkuas. Umbi ganyong berbentuk tidak teratur, umbi terdiri dari ruas-ruas bersisik dengan akar serabut tebal, berdiameter 5 hingga 8,75 cm dan panjang 10 hingga 15 cm (Koswara, 2014). Bobot umbi ganyong merah rata-rata 1.710 g/rumpun, umbi ganyong putih 1.688 g/rumpun (Suhartini dan Hadiatmi, 2010), dan umbi ganyong varietas Vietnam-purple 5.324 g/rumpun (Puncha-arnon *et al.*, 2007). Produktivitas tanaman ganyong sekitar 33 ton/Hektar (Suhartini dan Hadiatmi, 2010). Puncha-arnon *et al.* (2007) membagi umbi ganyong menjadi 4 bagian yaitu *mother*, *mature*, *premature*, dan *immature* (Gambar 2.2). Kandungan pati terbanyak terdapat pada bagian *mature* (73%, b/b), dengan struktur kristalin, sifat termal dan sifat pasting yang sama pada semua bagian umbi ganyong. Umbi ganyong selain dikonsumsi utuh dengan cara direbus, juga diolah menjadi tepung dan pati ganyong (Koswara, 2014).

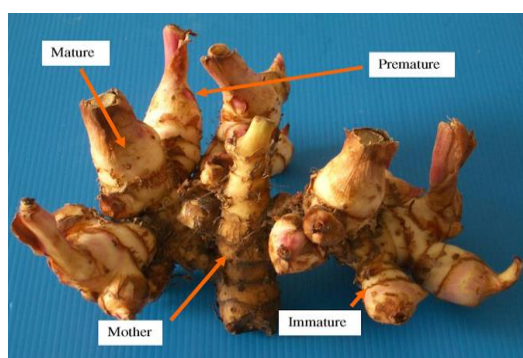


(a)



(b)

Gambar 2.1. Umbi ganyong merah (a) dan ganyong putih (b)



Sumber : (Puncha-arnon *et al.*, 2007)

Gambar 2.2. Umbi ganyong umur 7 bulan

Umbi ganyong mengandung karbohidrat, serat, protein, kalsium, fosfor, dan zat besi (Tabel 2.1). Senyawa fosfor pada pati ganyong dominan berbentuk *phosphate monoester* (70%), berikatan dengan C-6 amilopektin yang terletak pada rantai amilopektin (Watcharatewinkul *et al.*, 2008). Umbi Ganyong berpotensi digunakan sebagai antioksidan karena mengandung total fenol 42,71 mg *Gallic Acid Equivalents* (GAE)/g, flavonoid 21,92 mg *Quercetin Equivalents* (QE)/g, dan *Electron Donation Ability* (EDA) 500 µg/mL (Mishra *et al.*, 2011).

Tabel 2.1. Kandungan gizi setiap 100 g umbi ganyong segar

Zat Gizi	Kandungan Gizi
Air (g)	79,9
Energi (Kal)	77
Protein (g)	0,6
Lemak (g)	0,2
Karbohidrat (g)	18,4
Serat (g)	0,8
Abu (g)	0,9
Kalsium (mg)	15
Fosfor (mg)	67
Besi (mg)	1,0
Vitamin C (mg)	9
Tiamin (mg)	0,10

Sumber : Persagi (2005).

2.2. Pati Ganyong

Pengembangan umbi-umbian, termasuk ganyong memerlukan sentuhan teknologi untuk menghasilkan produk antara berupa pati dan tepung yang lebih awet, mudah diolah, serta menjamin kontinuitas pasokan. Umbi ganyong telah diolah menjadi tepung dan pati yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan untuk pengolahan berbagai produk pangan. Tepung dan pati ganyong dapat digunakan sebagai substitusi terigu untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap pangan impor. Produk olahan pati ganyong antara lain cendol, *cookies*, soun, dan berbagai makanan tradisional seperti ongol-ongol dan dodol.

Proses pengolahan umbi ganyong menjadi pati melalui beberapa tahap yaitu umbi ganyong dicuci, serat akarnya dibuang, selanjutnya diparut. Hasil parutan umbi ganyong diekstraksi patinya menggunakan air dengan perbandingan berat umbi dan air 1:3,5 (b/v). Ekstraksi dapat diulang 3 kali. Selanjutnya dilakukan penyaringan menggunakan kain kasa sehingga ampas tertinggal dalam saringan kasa dan air yang bercampur pati akan

lolos dari saringan. Suspensi pati diendapkan sekitar 12 jam, dipisahkan airnya sehingga didapatkan endapan pati. Endapan pati yang telah bersih dikeringkan dengan sinar matahari atau oven pada suhu 50°C selama 6 jam. Pati kering diayak agar ukurannya seragam dan dikemas. Rendemen pati dan tepung ganyong yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh jenis umbi, umur panen umbi, alat pamarut umbi, dan alat ekstraksi pati. Rendemen pati ganyong dapat mencapai 12,93% (Richana dan Sunarti, 2004). Ekstraksi pati ganyong menggunakan press hidrolik dapat menghasilkan rendemen 25-41% (db) yang kemurnian patinya lebih tinggi dibandingkan pengepresan pati menggunakan press screw (Witono *et al.*, 2013). Metode ekstraksi pati ganyong dan pengolahan tepung ganyong dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Aplikasi pati dalam pengolahan pangan memerlukan informasi karakteristik fisikokimia dan fungsional. Kandungan zat gizi tepung dan pati ganyong disajikan pada Tabel 2.2. Pati ganyong tergolong pati berkadar amilosa tinggi (42,40% db) (Harmayani *et al.*, 2011). Hasil penelitian Harmani *et al.* (2016) melaporkan bahwa kadar amilosa pada pati ganyong ungu dan pati ganyong hijau berturut-turut 49,51±4,43% db dan 53,42±11,22% db, sedangkan kadar fosfatnya berturut-turut 0,30±0,03% db dan 0,25±0,03% db. Komponen minor yang terdapat dalam pati ganyong antara lain protein, lemak, serat dan fosfor.

Tabel 2.2. Kandungan zat gizi tepung dan pati ganyong

Zat gizi (%)	Tepung		Pati			
	1)	1)	2)	3)	4)	5)
Air	6,69	8,34	11	17,94		15
Abu	2,89	0,20	0,06	0,32(db)	0,7-0,9(db)	0,34
Lemak	1,22	0,75	0,30	0,04(db)	0,01-0,15(db)	nd
Protein	0,73	0,08	0,93	0,26(db)	0,05-0,20(db)	0,065
Karbohidrat				99,40(db)		
Serat kasar	5,64	0,97		nd	0,40-0,90(db)	
Pati	40,18	55,32		93,30(db)	94,0-96,6(db)	
Amilosa	7,50	10,45	38,0	42,40(db)		34
Fosfor			0,01			368 ppm

Keterangan: db (dry basis), nd (tidak terdeteksi).

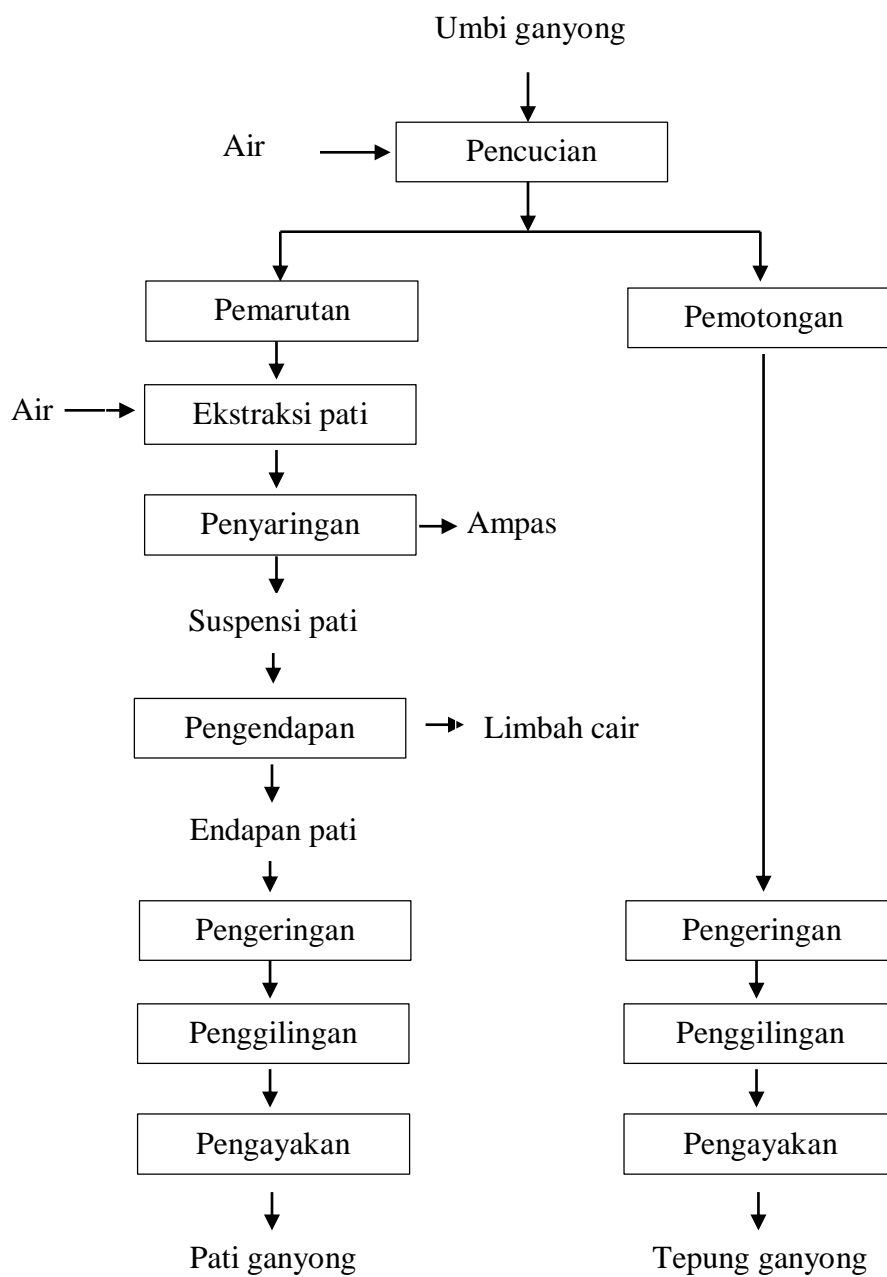
Sumber: 1) Richana dan Sunarti (2004).

2) Soni *et al.* (1990).

3) Harmayani *et al.* (2011).

4) Piyachomkwan *et al.* (2002).

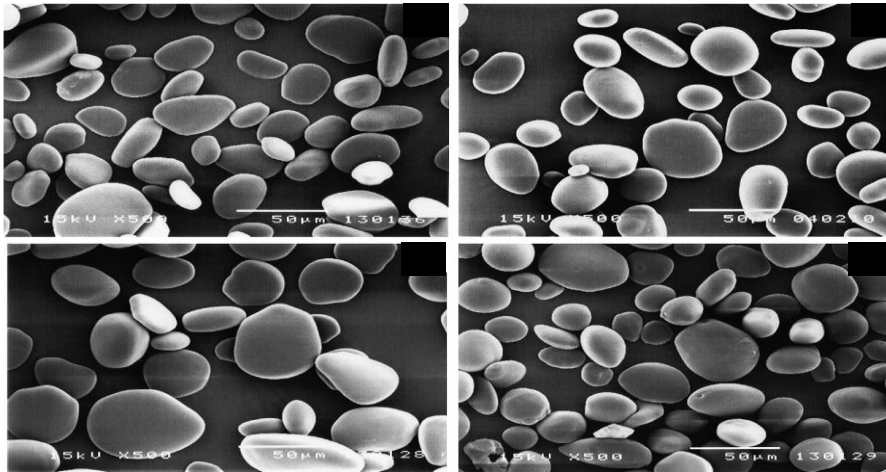
5) Watcharatewinkul *et al.* (2009).



Sumber: Richana dan Sunarti (2004)

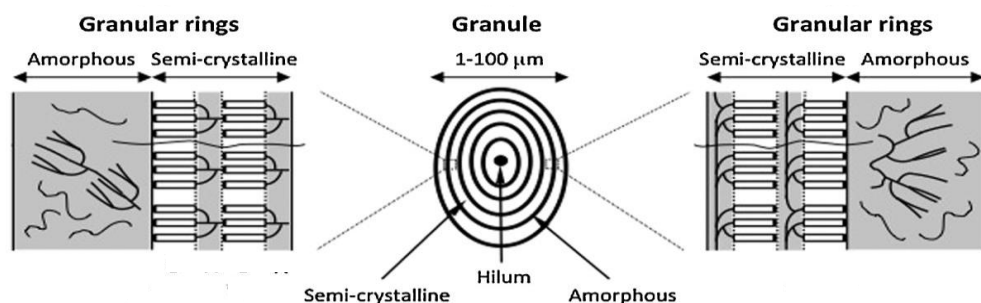
Gambar 2.3. Metode pembuatan pati dan tepung ganyong

Pati ganyong tersimpan dalam granula pati yang terdiri dari fraksi amilosa dan amilopektin. Amilosa bersifat larut dalam air panas sedangkan amilopektin tidak larut. Punched *et al.* (2007) melaporkan granula pati ganyong berbentuk bulat dan oval, berukuran 50 sampai dengan 60 μm (Gambar 2.4). Struktur granula pati berbentuk semikristalin yang terdiri dari bagian semi kristalin dan *amorphous* (Gambar 2.5). Perbandingan jumlah amilosa dan amilopektin berbeda-beda dalam setiap jenis pati. Berdasarkan proporsi amilosa dan amilopektinnya, pati dikelompokkan menjadi 3, yaitu pati beramilosa tinggi apabila mengandung 40-70% amilosa, beramilosa sedang apabila mengandung 25% amilosa, dan beramilosa rendah apabila kandungan amilosanya 0-8% (Jane, 2004). Proporsi amilosa dan amilopektin akan mempengaruhi sifat-sifat pati.



Sumber: Punched *et al.* (2007)

Gambar 2.4. Granula pati ganyong



Sumber: Vamadevan dan Bertoft (2014)

Gambar 2.5. Struktur granula pati

Amilosa dan amilopektin tersusun oleh monomer yang sama yaitu α -D-glukosa yang dihubungkan satu sama lain dengan ikatan α -1,4 glikosidik pada rantai liniernya. Amilopektin mempunyai struktur bercabang dengan ikatan α -1,6 glikosidik pada titik percabangannya. Panjang rantai amilosa bervariasi menurut jenis pati dan umumnya berkisar antara 500 sampai 6000 unit glukosa, sedangkan rantai amilopektin lebih panjang daripada amilosa berkisar 10^8 unit glukosa (Jane, 2004).

Karakteristik fisik pati meliputi *swelling power*, indeks kelarutan dalam air, indeks absorpsi air, profil pasta, dan profil termal. Sifat fisik tepung dan pati ganyong ditunjukkan pada Tabel 2.3. *Swelling power* adalah perbandingan antara berat gel pati dengan berat kering pati, yang mencerminkan kemampuan granula pati untuk mengembang. Indeks absorpsi air pada pati umbi-umbian perlu diketahui karena jumlah air yang ditambahkan pada pati mempengaruhi sifat dari sistem pati. Air yang terserap dalam molekul menyebabkan granula mengembang. Pada proses gelatinisasi terjadi pengrusakan ikatan hidrogen intramolekuler. Ikatan hidrogen mempunyai peranan untuk mempertahankan struktur integritas granula. Adanya gugus hidrogen bebas pada molekul pati dapat mempengaruhi penyerapan air, sehingga terjadi pembengkakan granula pati. Dengan demikian semakin banyak jumlah gugus hidroksil pada molekul pati maka kemampuan menyerap air semakin tinggi (Richana dan Sunarti, 2004).

Tabel 2.3. Sifat fisik tepung dan pati ganyong

Sifat fisik	Tepung		Pati	
	1)	3)	1)	2)
<i>Swelling power</i> (g/g)				9,96
Absorpsi air (g/g)	3,33		1,81	
Absorpsi minyak (g/g)	2,06		1,92	
Derajat putih (%)	48,05		77,02	
Ukuran dan bentuk granula			22,5 μ m, oval	
Warna : L^*				57,93
a^*				1,23
b^*				7,01
Warna (% reflaktansi)		94,49		
<i>Water binding capacity</i> (%)				162,15
Kapasitas penyerapan air (%db)		598,98		

Sumber: 1) Richana dan Sunarti (2004).

2) Harmayani *et al.* (2011).

3) Slamet (2010).

Profil gelatinisasi pati dapat diukur menggunakan instrument *Brabender Visco Amylograph* (BVA) atau *Rapid Visco Analyzer* (RVA). Ketika pati dipanaskan bersama air, pati akan mengalami peningkatan kelarutan yang diikuti dengan peningkatan viskositas yang kemudian akan membentuk gel. Fenomena ini disebut gelatinisasi pati, sedangkan suhu pada saat awal gelatinisasi disebut suhu gelatinisasi. Apabila pemanasan dilanjutkan dalam jangka waktu tertentu kemudian dilakukan pendinginan maka perubahan viskositas pati akan membentuk profil yang berbeda-beda tergantung pada jenis patinya. Pengukuran profil gelatinisasi pati menggunakan BVA atau RVA dapat memberikan informasi tentang suhu awal gelatinisasi (SAG), viskositas puncak (VP), viskositas *breakdown* (VB) yaitu perubahan viskositas selama pemanasan, viskositas *setback* (VS) yaitu perubahan viskositas selama pendinginan, dan viskositas akhir (VA). Soni *et al.* (1990) melaporkan viskositas pati ganyong tiga kali lebih tinggi dibandingkan pati jagung. Profil gelatinisasi pati ganyong dapat dilihat pada Gambar 2.6. dan Tabel 2.4.

Penggolongan gel pati dibagi menjadi 4 yaitu tipe A, tipe B, tipe C, dan tipe D. Tipe A adalah tipe gel yang mengalami pembengkakan yang tinggi dengan memperhatikan viskositas puncak yang tinggi kemudian mengalami pengenceran dengan cepat selama pemanasan. Tipe B adalah gel pati yang memiliki karakter pembengkakan yang sedang dengan memperlihatkan viskositas puncak yang lebih rendah. Tipe C adalah gel yang memiliki sifat dengan pembengkakan terbatas, tidak memperlihatkan puncak pada viskositas maksimum namun viskositasnya yang cenderung tinggi tetap dipertahankan atau meningkat selama pemanasan. Tipe D adalah tipe pati yang gelnya sulit membengkak dan sulit mengental pada konsentrasi yang sama dengan pati tipe lainnya. Sifat gelatinisasi pati ganyong yang diamati dengan *visco analyzer* menunjukkan viskositas yang tinggi, tidak terjadi *breakdown*, relatif stabil pada suhu 95°C, *setback* tinggi, termasuk tipe gelatinisasi antara B dan C, suhu pembentukan gelatinisasi 74 sampai dengan 75 °C, gelatinisasi pati ganyong jernih dan elastis (Chansri *et al.*, 2005).

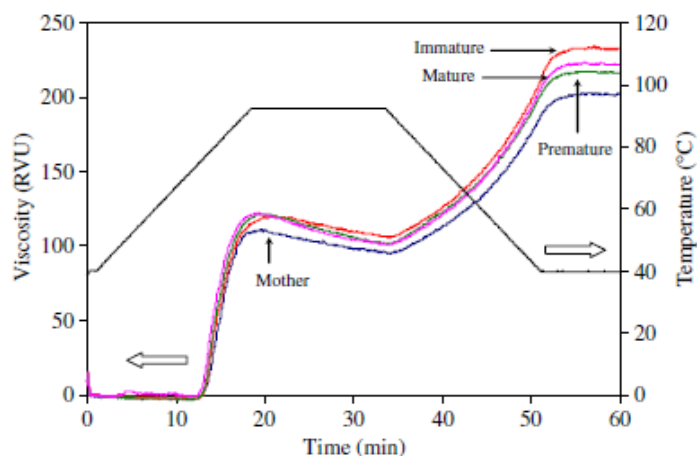
Tabel 2.4. Sifat gel pati ganyong yang diukur menggunakan *Brabender Visco Amylograph (BVA)* dan *Rapid Visco Analyzer (RVA)*

Parameter	Hasil Pengukuran		
	BVA ¹⁾	RVA ²⁾	RVA ³⁾
Suhu gelatinisasi (°C)	68,9	73,7	74-76
Viskositas Puncak	1058 BU	145,8 RVU	120-123 RVU
Viskositas pada 95°C	989 BU		
Viskositas pada 50°C	1661 BU	276,2 RVU	216-233 RVU
<i>Breakdown</i>	69 BU	24,1 RVU	17-21 RVU
<i>Setback</i>	603 BU	154,6 RVU	114-126 RVU

Sumber : ¹⁾Piyachomkwan *et al.* (2002).

²⁾Watcharatewinkul *et al.* (2008).

³⁾Puncha-arnon *et al.* (2007).



Sumber: Puncha-arnon *et al.* (2007)

Gambar 2.6. Profil gel pati ganyong

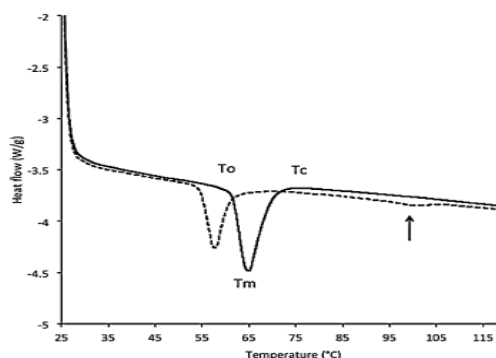
Tabel 2.5. Sifat termal pati ganyong yang diukur menggunakan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*

Parameter	Hasil Pengukuran		
	1)	2)	3)
T _o (°C)	60,94	69,2 ±0,1	70,9
T _p (°C)	63,91	71,9±0,1	73,6
T _c (°C)	66,47	74,8±0,3	76,9
T _c -T _o (°C)	5,53	5,6±0,2	6
ΔH (J/g)	0,8275	15,1±1,5	18,0

Sumber: 1) Zhang *et al.* (2009).

2) Watcharatewinkul *et al.* (2008).

3) Puncha-arnon *et al.* (2007).



Sumber: Vamadevan dan Bertoft (2014)

Gambar 2.7. *Differential Scanning Calorimetry (DSC) pati*

2.3. *Heat Moisture Treatment (HMT)*

Aplikasi pati dalam pangan, selain sebagai komponen nutrisi, juga menjadi penentu karakteristik produk. Penggunaan pati dalam produk pangan disesuaikan dengan karakteristik pati. Beberapa persyaratan yang perlu dipenuhi pati untuk pengolahan pangan antara lain pati harus tahan terhadap *shear* tinggi, pH rendah, suhu tinggi, dan suhu rendah. Namun pati alami biasanya tidak memenuhi persyaratan yang dibutuhkan. Hal ini mengakibatkan terbatasnya aplikasi pati alami sebagai bahan baku atau bahan pembantu pangan olahan. Untuk meningkatkan fungsi pati alami, maka dilakukan upaya modifikasi.

Modifikasi pati adalah perlakuan yang diberikan pada pati untuk menghasilkan sifat kimia dan/atau fisik pati sehingga mempunyai karakteristik yang sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Modifikasi pati dapat dilakukan dengan mengubah struktur kimia pati secara fisik, kimia, dan enzimatis. Modifikasi fisika meliputi pregelatinisasi, hidrotermal (*Heat-Moisture Treatment (HMT)* dan *Annealing (ANN)*), *High Hydrostatic Pressure (HHP)*, *High Power Ultrasound (HPU)*), dan mencampur beberapa jenis pati (Ashogbon dan Akintayo, 2014). Modifikasi secara kimia meliputi ikatan silang (*cross-linking*), esterifikasi, eterifikasi, hidrolisis, dan oksidasi (Onyango, 2016). Modifikasi enzimatis yaitu modifikasi pati dengan bantuan enzim misalnya enzim α -amilase.

Modifikasi pati secara fisik dilakukan dengan mengubah struktur dan mempengaruhi ikatan hidrogen secara terkontrol untuk memperbaiki sifat fisikokimia pati alami agar sesuai untuk suatu aplikasi spesifik. Perubahan ditingkat molekuler ini tidak atau hanya sedikit mengubah bentuk granula pati sehingga asal botani pati masih

bisa diidentifikasi secara mikroskopi. Salah satu metode modifikasi pati secara fisik adalah *Heat Moisture Treatment* (HMT).

HMT dilakukan dengan memanaskan pati berkadar air terbatas (kurang dari 35%) pada suhu di atas suhu transisi gelas tetapi dibawah suhu gelatinisasinya selama periode tertentu. Pada beberapa penelitian, suhu HMT dipilih tanpa memperhatikan suhu gelatinisasi pada kadar air yang digunakan, akibatnya, hasil HMT mungkin dipengaruhi oleh gelatinisasi parsial (Syamsir *et al.*, 2012). HMT dipilih karena merupakan proses alami (*natural*) yang aman.

Energi yang diterima oleh pati selama pemanasan berlangsung memungkinkan pelemahan ikatan hidrogen inter dan intra molekul amilosa dan amilopektin dalam granula pati. Kondisi ini memberikan peluang kepada air untuk mengimbibisi granula pati. Jumlah air yang terbatas menyebabkan pergerakan maupun pembentukan interaksi antara air dan molekul amilosa atau amilopektin juga terbatas sehingga tidak terjadi peningkatan kelarutan pati di dalam air selama pemanasan berlangsung. Hal ini belum mampu membuat pati mengalami gelatinisasi. Berbagai kajian menunjukkan bahwa imbibisi air selama modifikasi HMT menyebabkan adanya pengaturan kembali molekul amilosa dan amilopektin di dalam granula pati yang berdampak pada terjadinya perubahan sifat fisikokimia pati (Herawati *et al.*, 2010). Perubahan sifat fisik yang terjadi pada pati termodifikasi HMT antara lain perubahan profil amilografi pati dan perubahan karakteristik termal.

HMT menyebabkan perubahan konformasi molekul pati dan menghasilkan struktur kristalin yang lebih resisten terhadap proses gelatinisasi. Perubahan karakteristik fisikokimia dan fungsional pati HMT sangat beragam dan dipengaruhi oleh kondisi pati (jenis pati, kadar amilosa, tipe kristalisasi pati) dan kondisi proses (suhu, kadar air, dan lama waktu proses (Syamsir *et al.*, 2012). Energi yang diserap granula selama pemanasan pada suhu yang lebih rendah dari suhu gelatinisasinya akan membuka lipatan heliks ganda amilopektin dan memfasilitasi pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul. Modifikasi berlangsung saat fase *amorphous* pati berada pada kondisi *rubbery* yang bersifat fluida, mobilitas titik percabangan amilopektin meningkat dan mengakibatkan peningkatan interaksi di bagian kristalin. Sebagian penelitian menyebutkan HMT tidak mengubah morfologi granula, sebagian yang lain menyebutkan HMT menyebabkan pembentukan rongga dan kabunya persilangan polaritas dibagian

tengah granula. HMT mengubah kristal tipe B dan C menjadi tipe A, tetapi tidak mengubah kristal tipe A.

Analisis DSC menunjukkan HMT mengubah karakteristik termal pati. HMT meningkatkan suhu gelatinisasi pati dan perubahan rentang gelatinisasinya. Peningkatan suhu gelatinisasi berbanding lurus dengan kadar air proses. Suhu gelatinisasi pati ganyong modifikasi HMT pada kadar air 25% sebesar $74,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$, sedangkan perlakuan yang sama pada kadar air 15% suhu gelatinisasinya $67,8 \pm 0,1^\circ\text{C}$ (Watcharatewinkul *et al.*, 2008). Interaksi amilosa (*amorphous*) dengan amilopektin (kristalin) selama HMT mereduksi mobilitas rantai amilopektin sehingga suhu gelatinisasi meningkat. HMT menurunkan entalpi gelatinisasi. Peningkatan kadar air pati memperbesar penurunan entalpi pada suhu proses yang lebih tinggi. HMT menyebabkan peningkatan suhu gelatinisasi, penurunan *breakdown*, *setback* dapat naik atau turun, dan penurunan viskositas puncak.

HMT pati ubi jalar kadar air 25% pada suhu 110°C dan waktu 3 jam dapat meningkatkan viskositas puncak, viskositas balik, viskositas akhir, suhu gelatinisasi, *setback*, tetapi menurunkan *breakdown* dibandingkan pati alaminya (Lase *et al.*, 2013). Pati ubi jalar putih yang dimodifikasi dengan HMT menghasilkan bihun instan terbaik dengan nilai kehilangan akibat pemanasan dan kadar lemak yang rendah, tetapi warna dan kecerahan lebih tinggi serta lebih disukai oleh panelis dibandingkan dengan ubi jalar warna kuning, orange dan ungu (Lase *et al.*, 2013). Rendahnya viskositas *breakdown* merupakan sifat pati sebagai gelatinisasi non-kohefif tekstur yang baik untuk beberapa produk pangan dan industri pangan (Lase *et al.*, 2013). Modifikasi HMT tepung ubi jalar ungu dan kuning telah dipelajari oleh Putri *et al.* (2014). HMT pada kadar air 30%, suhu 50 dan 77°C selama 3 dan 6 jam menghasilkan perubahan sifat gelatinisasi yang berbeda antara kedua jenis ubi jalar.

HMT pati ganyong pada kadar air 15 sampai 25%, suhu 100°C , selama 16 jam menghasilkan pati ganyong modifikasi dengan viskositas gelatinisasi yang lebih rendah, stabil terhadap pemanasan, dan menurunkan retrogradasi dibandingkan dengan pati ganyong alami, namun tidak mengubah bentuk dan ukuran granula patinya (Watcharatewinkul *et al.*, 2008). Morfologi granula pati ganyong hasil modifikasi HMT dengan kadar air 22% dan 25% masih utuh berbentuk granula. Sedangkan pati hasil modifikasi HMT pada kadar air yang lebih rendah (15%, 18%, 20%) dan pati alami,

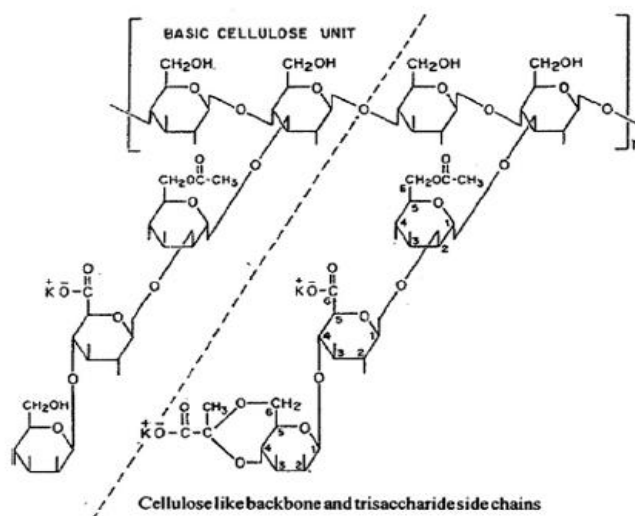
granula patinya telah pecah. Struktur kristalin pati ganyong berdasarkan *X-ray diffraction* adalah tipe B dan tidak mengalami perubahan setelah perlakuan HMT pada kadar air 15 sampai 25%, suhu 100°C, selama 16 jam (Watcharatewinkul *et al.*, 2008).

Tapioka yang dimodifikasi dengan HMT pada kadar air 18, 24, 30%, suhu 80°C, dan waktu 8,16 dan 24 jam menghasilkan tapioka modifikasi yang meningkat kristalinitas, suhu gelatinisasi (*onset pasting temperature*), dan indeks absorpsi airnya. Namun *swelling power*, indeks kelarutan air, dan viskositas puncaknya menurun dibandingkan tapioka alami. Tapioka yang telah dilakukan modifikasi HMT ini menghasilkan roti kombinasi sorghum-tapioka-amaranth yang lebih lembut dibandingkan penggunaan tapioka alami (Onyango *et al.*, 2013).

2.4. Gum Xanthan

Gum xanthan ditemukan pada tahun 1950 oleh *the Northern Regional Research Laboratories (NRRL) of the United States Department of Agriculture*, yang dihasilkan oleh *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459. Gum xanthan telah diproduksi secara komersial oleh Kelco sebagai Kelzan yang dimulai pada tahun 1964. Sekarang industri yang memproduksi gum xanthan adalah Merck dan Pfizer di Amerika Serikat, Rhone Poulenc dan Sanofi-Elf di Perancis dan Jungbunzlauer di Austria (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000). Dalam industri pangan, gum xanthan digunakan sebagai *thickening agent* pada saos dan sirup, *gelling agent* pada *dessert*, *confectionary*, *jellies*, *pastry filling*, penstabil pada es krim, *salad dressing*, saribuah, pembentuk gel sinergetik pada gel daging sintetis.

Gum xanthan merupakan biopolimer microbial yang pertama diproduksi dalam skala industri. Gum xanthan merupakan heteropolisakarida tersusun oleh 2 unit glukosa, 2 unit manosa, 1 unit asam glukoronik, piruvat dan asetil (Freitas *et al.* 2011; Morris, 2006; Gomashe *et al.*, 2013). Struktur molekul gum xanthan disajikan pada Gambar 2.8. Struktur utama gum xanthan terdiri dari glukosa yang berikatan β -D- glukosidik pada gugus C 1 dan 4 glukosa yang identik dengan struktur selulosa. Berat molekulnya berkisar antara 2×10^6 sampai 20×10^6 Da (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000).



Sumber: Palaniraj dan Jayaraman (2011)

Gambar 2.8. Struktur gum xanthan

Gum xanthan larut dalam air dingin dan panas, menghasilkan larutan yang kental pada konsentrasi yang sangat rendah sehingga potensial digunakan pada industri pangan, terutama sebagai pengental, stabiliser suspensi dan emulsi. Larutan gum xanthan bersifat *pseudoplastic* atau *shear thinning*, viskositas turun dengan meningkatnya *shear rate*. Viskositas gum xanthan dipengaruhi oleh suhu (suhu pelarutan dan pengukuran), konsentrasi gum xanthan, konsentrasi garam, dan pH. Sifat fisikokimia gum xanthan disajikan pada Tabel 2.6. Viskositas larutan gum xanthan stabil pada range pH dan suhu yang luas dan resisten terhadap degradasi enzimatik. Gum xanthan menyebabkan stabilitas pada pemasakan dan pendinginan produk-produk berbasis tepung terigu dan meningkatkan stabilitas pangan dengan perlakuan *freeze-thawing* (Selomulyo dan Zhou, 2007).

Viskositas larutan gum xanthan dipengaruhi suhu pengukuran (T_M) dan suhu pelarutan (T_D). Viskositas turun dengan naiknya suhu pengukuran, bersifat dapat kembali pada suhu antara 10 dan 80°C. Viskositas juga dipengaruhi oleh suhu pelarutan, viskositas turun dengan naiknya suhu pelarutan sampai 40°C. Antara 40 dan 60°C, viskositas meningkat dengan meningkatnya suhu pelarutan. Pada suhu di atas 60°C, viskositas turun dengan meningkatnya suhu pelarutan. Viskositas gum xanthan tidak dipengaruhi perubahan pH 1 sampai 13. Larutan Gum xanthan bersifat *non-Newtonian rheology*. Viskositas menurun pada peningkatan *shear rate* (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000).

Tabel 2.6. Sifat fisikokimia gum xanthan

Sifat fisikokimia	Nilai
Bentuk fisik	Bubuk kering berwarna cream
Kadar air (%)	8-15
Abu (%)	7-12
Nitrogen (%)	0,3-1
Kandungan asetat (%)	1,9-6,0
Kandungan piruvat (%)	1,0-5,7
Garam monovalent (g/L)	3,6-14,3
Garam divalent (g/L)	0,085-0,17
Viskositas (cP)	13-35

($15,8s^{-1}$, $C_p=1g/L$, $T_D=25^{\circ}C$, $T_M=25^{\circ}C$)

Sumber: Garcia-Ochoa *et al.*(2000)

Gum xanthan merupakan hidrololoid yang sering digunakan sebagai *bread improver* pada pembuatan roti berbahan dasar pati dan tepung selain terigu. Roti berbahan baku komposit pati kentang, pati jagung dan tepung jagung yang diberi *bread improver* campuran gum xanthan, *guar gum*, dan pektin dengan proposi yang sama menghasilkan volume roti yang lebih besar dibandingkan bila hanya menggunakan campuran *guar gum* dan pektin (Gambus *et al.*, 2007).

Gum xanthan dapat digunakan sebagai stabilizer pada penyimpanan dingin karena mampu menghambat sineresis, menurunkan mobilitas fraksi air dalam sistem sehingga dapat menghambat proses gelatinisasi, dan mengurangi hidrasi bagian *amorphous* granula pati sehingga resisten terhadap degradasi enzim α - amylase. Interaksi gum xanthan dengan pati jagung kemungkinan merupakan ikatan hidrogen karena gel pati jagung dan gel pati jagung yang mengandung gum xanthan mempunyai *spectra absorpsi infra-red* yang sama (Weber *et al.*, 2009).

2.5. Produk Roti

Kepedulian terhadap kebutuhan makanan untuk kelompok penderita *celiac* mendorong dikembangkannya produk roti bebas gluten. Gluten merupakan jenis protein yang hanya terdapat pada terigu yang berperan penting dalam menghasilkan sifat viskoelastis adonan roti, sehingga menghasilkan roti yang mengembang dan lembut. Gluten terdiri dari glutenin dan gliadin. Glutenin mempunyai sifat elastis, sedangkan gliadin mempunyai sifat kental. Sifat viskoelastis sangat diperlukan pada produk roti.

Berdasarkan kadar glutennya, terigu dikelompokkan menjadi 3, yaitu terigu keras, sedang, dan lunak. Terigu keras yang tinggi kandungan glutennya cocok untuk membuat

roti. Gluten memberikan karakter adonan roti yang elastis dan *ekstensibel* sehingga mampu menahan gas yang terbentuk selama fermentasi dan dapat mengembang sempurna menghasilkan roti yang elastis dan lunak (Demirkesen *et al.*, 2010). Kekurangan gluten pada pembuatan roti menyebabkan adonan tidak mampu menahan gas CO₂ yang dihasilkan selama fermentasi sehingga rotinya keras, liat, volume kecil, dan tekstur menjadi kasar.

Karakteristik utama roti terigu yang mengandung gluten adalah lunak, lentur, dan pori-pori halus. Roti bebas gluten mempunyai karakteristik keras, kaku, dan pori-pori besar. Oleh karena itu, agar supaya roti bebas gluten mempunyai karakteristik sama dengan roti terigu maka pemilihan bahan baku dan modifikasi proses pengolahan perlu diperhatikan.

Berbagai jenis pati dan tepung dari tanaman bebas gluten seperti jagung, beras, kedelai, kentang, dan ubikayu dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat roti bebas gluten (Lopez *et al.*, 2004; Witczak *et al.*, 2012). Senyawa polimer yang mampu meniru sifat viskoelastis gluten antara lain hidrokoloid (*hydroxyl propyl methyl cellulose* –HPMC, *methyl cellulose*-MC, *carboxy methyl cellulose*-CMC, guar gum, xanthan gum) dan protein (protein susu, protein putih telur, dan protein kedelai) (Hager dan Arendt, 2013; Peressini *et al.*, 2011). Konsentrasi gum xanthan optimum untuk menghasilkan roti bebas gluten berbahan dasar pati beras dan jagung menurut Hager dan Arendt (2013) berturut-turut 0,43 dan 0,30%.

Pada pembuatan roti berbahan dasar terigu, terdapat 3 komponen penting yang berperan yaitu tepung, garam dan air. Pencampuran ketiga komponen tersebut yang dilanjutkan dengan *kneading*, *proofing*, dan pemanggangan dapat menghasilkan struktur adonan roti yang baik. Hal ini tidak terjadi pada roti bebas gluten, sehingga perlu ditambah bahan yang mampu berperan sebagai gluten pada roti bebas gluten, seperti gum, pati, bahan pengembang (*baking powder*), dan protein. Produk roti bebas gluten yang pengembangannya bukan *yeast* seperti *cake*, *muffins*, atau *cookies* lebih mudah dihasilkan karena tidak memerlukan sifat viscoelastis pada adonannya. Pengembangannya dapat menggunakan telur dan susu.

Proses pembuatan roti bebas gluten berbeda dengan pembuatan roti yang mengandung gluten. Perbedaannya adalah pada proses pengolahan roti bebas gluten, tidak dilakukan proses *kneading* (pengulenan adonan). Adonan roti bebas gluten bersifat

encer dan tidak stabil sehingga waktu pencampuran dan *proofing* lebih cepat dibandingkan roti yang dibuat dari gandum. Kualitas roti bebas gluten lebih rendah dibandingkan roti yang mengandung gluten walaupun sudah ditambah berbagai bahan yang digunakan sebagai substitusi gluten. Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat roti bebas gluten antara lain pati, hidrokoloid, tepung beras, tepung jagung, air, garam, *yeast*, baking powder, shortening, emulsifier, gula, dan protein.

Formula dasar roti non gluten menurut Sciarini *et al.* (2012) adalah 45 g tepung beras, 45 g tapioka, 10 g tepung kedelai, 2 g garam, 2 g shortening, 3 g yeast, 0,5 g gum xanthan, dan 75 g air. Bahan roti non gluten dicampur dalam mixer pada kecepatan 156 rpm selama 1 menit, kecepatan ditingkatkan menjadi 214 rpm selama 2 menit. Adonan dilakukan *proofing* selama 30 menit pada suhu 30°C, RH 85%. Adonan dicampur lagi pada kecepatan 156 rpm selama 1 menit, selanjutnya dilakukan *proofing* kembali dengan kondisi yang sama dengan *proofing* pertama. Adonan dipanggang pada suhu 180°C selama 30 menit, dan didinginkan.

BAB 3

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Kimia Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian FP Unsri, Laboratorium Hama Penyakit Tumbuhan FP Unsri, Indralaya, Laboratorium *Seafast* Center IPB, Bogor, dan laboratorium Pusat Penelitian Biologi LIPI Cibinong. Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Maret 2015 sampai dengan Juni 2016.

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan-bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pati ganyong dari pengolahan pati ganyong di desa Sendang Sari, kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta, gum xanthan (GX) FG 80 mesh (PT Brataco), aquadest, telur, gula, susu *full cream*, *instant dry yeast*, margarin, pati jagung, dan tepung terigu protein sedang (segitiga biru).

3.2.2. Alat-alat

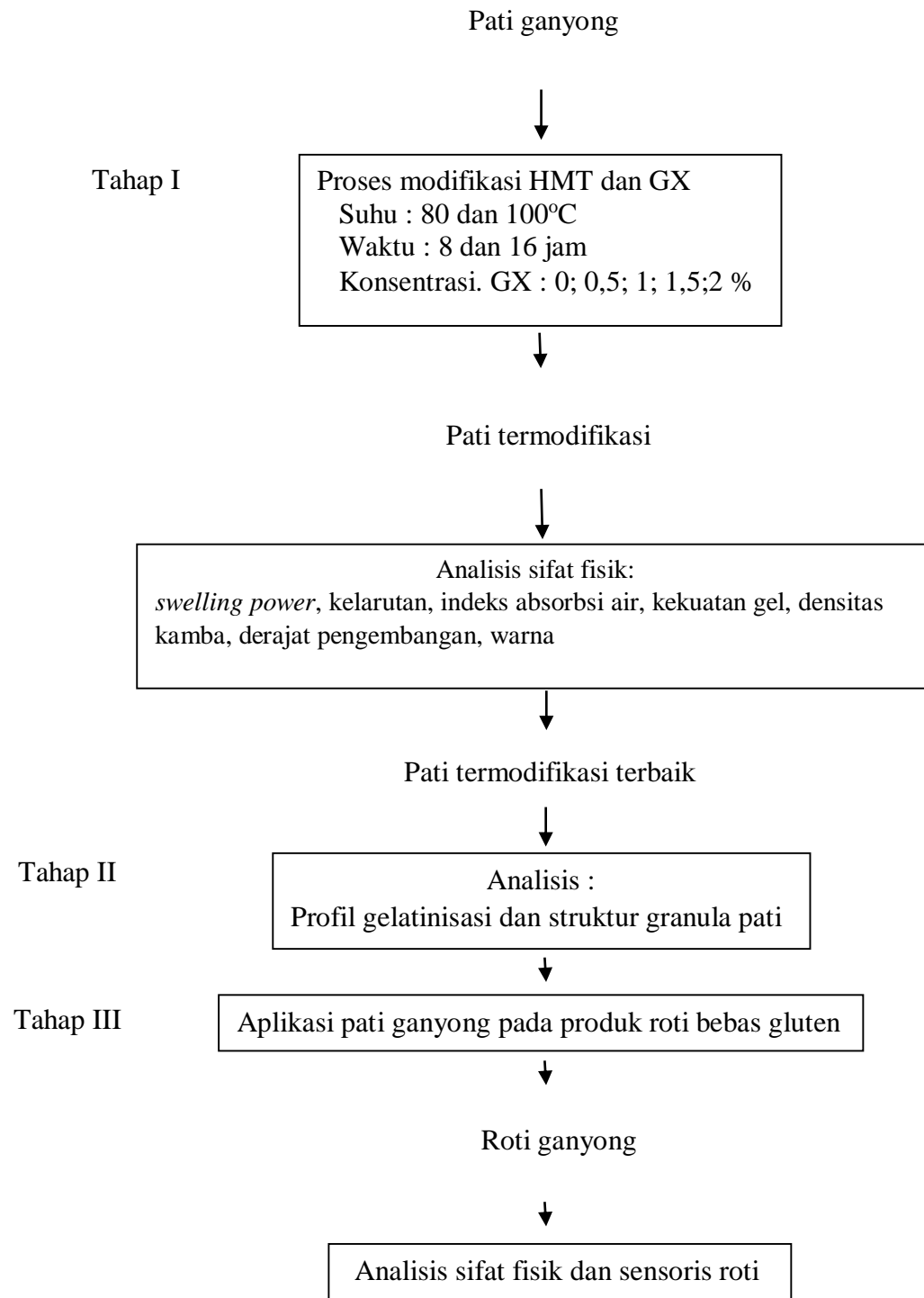
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Rapid Visco Analyzer* (RVA) Tecmaster series TMA No.2061904, LFRA *Texture Analyzer*, *Color Checker Konica Minolta CR-1* (Jepang), *Scanning Electron Microscopy* (SEM)(Tipe JSM-5000), neraca analitik (Ohaus), oven (Memmert), mikroskop (Olympus CX 21), lemari es, sentrifus, *micrometer skrup* dan peralatan gelas.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap, yaitu tahap I, tahap II, dan tahap III. Penelitian tahap I adalah modifikasi pati ganyong dengan HMT dan gum xanthan serta karakterisasi sifat fisik pati ganyong termodifikasi. Penelitian tahap II pengamatan profil gelatinisasi dan struktur granula pati ganyong termodifikasi HMT dan gum xanthan. Penelitian tahap III aplikasi pati ganyong termodifikasi

HMT-GX untuk produk roti bebas gluten. Bagan alir penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.3.2. Prosedur Penelitian

3.3.2.1. Tahap 1. Modifikasi Pati Ganyong dengan HMT dan Gum Xanthan

Proses modifikasi pati ganyong mengacu pada modifikasi dari proses Onyango *et al.* (2013). Penetapan kadar air pati ganyong 15% dilakukan dengan cara menganalisa kadar air pati ganyong awal yang dilanjutkan dengan penambahan aquades sampai kadar air mencapai 15% (b/b). Pati ganyong berkadar air 15% dimasukkan dalam Erlenmeyer bertutup dan disimpan pada suhu 4°C selama 12 jam untuk mencapai kesetimbangan. Selanjutnya ditambah gum xanthan sesuai perlakuan, diaduk sampai tercampur rata, dipanaskan dalam oven pada suhu dan waktu HMT sesuai perlakuan. Selanjutnya pati ganyong dikeringkan dalam oven pada suhu 45°C sampai kadar air sekitar 10%. Pati ganyong termodifikasi disimpan dalam kemasan plastik.

Jumlah aquades yang ditambahkan ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut (Fitriani *et al.*,2010):

$$(100 - KA_1) \times BP_1 = (100 - KA_2) \times BP_2 \quad (1)$$

Keterangan :

KA₁ = kadar air pati kondisi awal KA₂ = kadar air pati yang diinginkan

BP₁ = bobot pati pada kondisi awal BP₂ = bobot pati setelah diatur kadar airnya

BP₂ - BP₁ = bobot air yang ditambahkan pada pati

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan tiga faktor. Pengulangan dilakukan 3 kali.

Faktor A: Suhu HMT

A1 = 80°C

A2 = 100°C

Faktor B: Lama waktu HMT

B1 = 8 jam

B2 = 16 jam

Faktor C: Konsentrasi gum xanthan (GX) (b/b, dari berat pati ganyong)

C1= 0%

C3= 1 %

C5= 1%

C2= 0,5%

C4= 1,5 %

Parameter yang diamati adalah *swelling power* dan indeks kelarutan dalam air (Onyango *et al.*, 2013), indeks absorpsi air (Onyango *et al.*, 2013), tekstur

(Maulani *et al.*, 2013), densitas kamba (Kuswardani *et al.*, 2013), derajat pengembangan (*baking expansion*) (Putri *et al.*, 2011). Pengujian parameter yang sama dilakukan pada pati ganyong alami sebagai kontrol.

Data dari setiap parameter dilakukan analisis keragaman (Anova), dilanjutkan dengan uji BNJ taraf 5% apabila perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata. Pemilihan perlakuan terbaik terhadap pati ganyong termodifikasi HMT-GX sebagai bahan baku pembuatan roti adalah nilai *swelling power*, indeks absorpsi air, derajat pengembangan yang nilai tinggi dan indeks kelarutan dalam air, tekstur gel, dan densitas kamba yang rendah.

3.3.2.2. Tahap 2. Analisis Profil Gel dan Struktur Granula Pati

Pati ganyong termodifikasi yang dianalisis profil gelnya adalah pati ganyong hasil modifikasi pada suhu HMT dan konsentrasi gum xanthan sesuai perlakuan. Pati ganyong dimodifikasi dengan pengaturan kadar air pati 15% dan waktu HMT 8 jam.

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor. Pengulangan dilakukan 3 kali.

Faktor A: Suhu HMT

A1 = 80°C

A2 = 100°C

Faktor C: Konsentrasi gum xanthan (GX) (b/b, dari berat pati ganyong)

C1= 0%

C4= 1,5 %

C2= 0,5%

C5= 2 %

C3= 1 %

Profil pasta pati diamati menggunakan RVA dan struktur granula pati diamati menggunakan SEM pada perbesaran 500x. Parameter profil gel yang diamati adalah suhu gelatinisasi, waktu gelatinisasi, viskositas puncak, viskositas akhir, viskositas *breakdown*, dan viskositas *setback*. Data dari setiap parameter dilakukan analisis keragaman (Anova), dilanjutkan dengan uji BNJ taraf 5% apabila perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata.

3.3.2.3. Tahap 3. Aplikasi Pati Ganyong Termodifikasi Terpilih pada Pengolahan Roti Bebas Gluten

Pati ganyong termodifikasi terpilih yang digunakan untuk pembuatan roti adalah:

1. F1 (pati ganyong perlakuan terbaik berdasarkan sifat fisik dari tahap penelitian pertama),
2. F2 (pati ganyong termodifikasi HMT),
3. F3 (Pati ganyong alami yang ditambah gum xanthan 1,5%)
4. F4 (Pati ganyong alami)
5. F5 (Pati jagung)
6. F6 (Tepung terigu)

Formulasi bahan untuk membuat roti berdasarkan formulasi bahan dalam penelitian Al-Dmoor (2014), Eduardo (2013), Gambus (2007), dan Rakkar (2007) yang dimodifikasi melalui penelitian pendahuluan. Formulasi bahan untuk membuat roti disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Formulasi bahan untuk membuat roti

Jenis bahan	Jumlah bahan
Pati atau tepung Putih telur	230 g
Kuning telur	25 mL
Margarin	30 mL
Gula	30 g
Susu <i>full cream</i> cair	50 g
Instan dry yeast	100 mL
	5 g

Proses pembuatan roti terdiri dari pencampuran semua bahan, pembentukan adonan menjadi bulatan kecil dengan berat 10g/bulatan, bulatan adonan dimasukkan ke dalam loyang yang telah diolesi margarin dan ditaburi pati ganyong, didiamkan (*proofing*) pada suhu ruang selama 30 menit, pemanggangan pada suhu 180°C selama 30 menit, pendinginan, dan penyimpanan dalam stoples.

Parameter yang diamati meliputi volume spesifik (Putri *et al.*, 2014), warna (*Colour Checker Konica Minolta CR-1 Jepang*), kekerasan (*Texture Analyzer* dengan pengaturan: distance 5,0 mm, speed 5 mm/s, menggunakan probe TA 43), rasio tinggi/diameter (*micrometer skrup*), dan uji hedonik.

3.4. Prosedur Analisis

3.4.1. Kadar Air

Analisa kadar air dilakukan menurut metode AOAC (2005). Cawan porselin kosong dikeringkan pada suhu 105°C selama 3 jam, dimasukkan dalam desikator selama 30 menit, selanjutnya ditimbang (A g). Cawan diisi dengan 3 g sampel (berat cawan dan berat sampel = B g), Cawan yang telah berisi sampel dimasukkan ke dalam oven suhu 105°C sampai berat konstan, dikeluarkan dari dalam oven dan secepatnya dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit, ditimbang (= C g). Kadar air merupakan rasio berat air dengan berat sampel.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(B - A) - (C - A)}{(B - A)} \times 100 \quad (2)$$

3.4.2. Swelling Power dan Kelarutan

Analisa *swelling power* dan kelarutan pati dilakukan sesuai dengan cara Onyango *et al.* (2013). Ditimbang 0,1 g sampel (A) dan dicampur dengan 10 mL aquades dalam 15 mL tabung sentrifuse yang telah diketahui beratnya. Sampel ditempatkan pada penangas air suhu 60°C selama 30 menit dengan pengadukan kontinyu selama 5 detik setelah 5, 15, dan 25 menit. Sampel yang telah dipanaskan kemudian didinginkan pada suhu ruang dan disentrifugasi dengan kecepatan 1000 x g selama 15 menit. Diambil supernatannya, kemudian endapannya ditimbang (D). Supernatan diletakkan dalam cawan petri yang telah diketahui beratnya (B). Cawan petri dikeringkan pada oven suhu 100°C sampai berat konstan, kemudian ditimbang (C). *Swelling power* merupakan rasio berat endapan yang tertinggal dalam tabung sentrifuse (D) dibandingkan berat kering sampel.

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{(C - B)}{A} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Swelling power} = \frac{D}{A \times (100 - \% \text{kelarutan})} \text{ (g / g)} \quad (4)$$

3.4.3. Indeks Absorpsi Air (IAA)

Analisa IAA dilakukan menurut metode Onyango *et al.* (2013). Menimbang 5 g sampel dalam tabung sentrifus 50 mL, ditambah 25 mL aquades, tabung ditutup dan kocok selama 5 menit, suspensi dibiarkan selama 20 menit, dengan interval waktu pengocokan 5, 10, 15, 20 menit, disentrifus pada kecepatan 1000 x g selama 15 menit, supernatant dipisahkan, endapan dihilangkan airnya menggunakan kertas adsorben dan ditimbang (A). IAA diukur dengan menghitung rasio berat (g) air yang diabsorpsi oleh 1 g pati kering.

$$\text{Indeks absorpsi air (\%)} = \frac{A-5}{5} \times 100 \quad (5)$$

3.4.4. Kekuatan Gel (*Gel Strength*)

Pengukuran kekuatan gel dilakukan dengan menggunakan alat Stable Micro System (*Texture Analyser*). Pembuatan gel dilakukan menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh Lee dan Yoo (2011) dalam Maulani *et al.* (2013). Gel dibuat dengan melarutkan 10 g pati pada 100 g air destilasi, kemudian dipanaskan selama 30 menit pada suhu 95°C. Gel yang masih panas dimasukkan ke dalam silinder plastik (diameter 3,5 cm, tinggi 4,0 cm), ditutup dengan aluminium foil dan disimpan selama 1 jam pada suhu kamar. Gel ditekan menggunakan silinder berdiameter 10 mm dengan kecepatan 1,0 mm/det pada jarak 10 mm. Kekuatan gel adalah nilai maksimum selama penekanan (*gram force/gf*).

3.4.5. Pengukuran Densitas Kamba

Pengukuran densitas kamba diukur dengan metode Wirakartakusumah *et al.* (1992) dalam Kuswardani *et al.* (2013). Sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur 25 mL yang telah diketahui bobotnya, lalu ditimbang bobotnya.

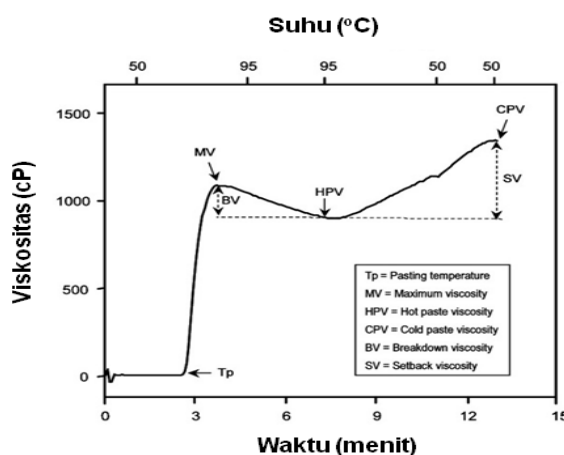
$$\text{Densitas Kamba} = \frac{\text{berat sampel (g)}}{\text{volume sampel (mL)}} \quad (6)$$

3.4.6. Derajat Pengembangan

Derajat pengembangan pati dalam membentuk adonan diukur menurut Putri *et al.* (2011). Adonan dibuat dengan melakukan gelatinisasi parsial 24 g pati dalam 30 mL air mendidih. Adonan dibagi 3 dengan ukuran yang sama, dioven pada suhu 200°C selama 20 menit, didinginkan sampai mencapai suhu ruang, ditimbang. Adonan yang sudah dioven dibungkus dengan paraffin diukur volumenya. Derajat pengembangan dinyatakan sebagai volume spesifik (mL/g).

3.4.7. Profil Gel

Pengukuran profil gel menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA-3D, Newport Scientific, Narrabeen, Australia) dengan kecepatan pengadukan 160 rpm menurut Watcharatwinkul *et al.* (2009). Dibuat 6% suspensi pati (b/b). Suhu RVA diatur pada suhu 50°C selama 2 menit, dipanaskan dengan kecepatan 3°C/menit sampai suhu 95°C dan dipertahankan selama 15 menit, suhu diturunkan dengan kecepatan yang sama sampai suhu mencapai 50°C. Parameter yang diamati adalah (1) suhu gelatinisasi, (2) waktu gelatinisasi, (3) viskositas puncak, (4) viskositas akhir, (5) *breakdown*, dan (6) *setback* (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Profil pasta pati dengan RVA

3.4.8. Pengukuran Struktur Granula Pati

Pengukuran struktur granula pati menggunakan SEM seperti yang dilakukan Putri *et al.* (2011). Pati ditaburkan pada *double-sided cellophane tape* yang melekat pada *aluminum stubs*. Kemudian dilapisi dengan 25 nm *gold-*

palladium (60:40) pada 10 milliamps selama 3 menit (Hummer Sputter Coater, techincs EMS, inc.VA). Sampel diamati pada 10,0 kV dan perbesaran 500x.

3.4.9. Pengukuran Warna (CIE $L^* a^* b^*$)

Pengukuran warna menggunakan *chromameter* dengan system CIELAB, dan LCH *color scale* (HunterLab, 2008). Sumbu L (*Lightness*, %) mulai dari atas ke bawah (*top to bottom*) dengan nilai maksimum 100 yang menunjukkan *perfect reflecting diffuser* yang diindikasikan sebagai putih, dan nilai nol menunjukkan warna hitam. Sumbu a^* dan b^* tidak memiliki batasan numerik. Nilai positif a^* menunjukkan warna merah, dan negative a^* adalah hijau. Nilai positif b^* menunjukkan warna kuning, dan negative b^* adalah biru.

Cara kerja *chromameter* :

- a. *Chromameter* dinyalakan dan tombol fungsi diaktifkan untuk memilih dan menentukan nilai dan angka yang digunakan. Nilai yang digunakan adalah L (*Lightness*), a^* , b^* .
- b. Sampel roti dimasukkan ke dalam plastik polipropilen.
- c. Sampel roti diletakkan di bawah *chromameter* dan angka L , a , b yang tertera pada alat dicatat.

3.4.10. Pengukuran Kekerasan Roti

Kekerasan roti diukur menggunakan *Texture Analyzer* mengacu pada Alvarenga *et al.* (2011) dengan pengaturan: *distance* 10,0 mm, *speed* 1,7 mm/s, menggunakan probe TA 43 (spherical probes, bahan nylon, diameter 25,4 mm). Kekerasan roti adalah nilai maksimum selama penekanan (*gram force/g_f*).

Cara kerja *texture analyzer* :

- a. Probe tipe TA 43 dipasang pada alat *texture analyzer*.
- b. Sampel roti diletakan tepat di bawah probe tipe TA 43.
- c. *Texture analyzer* diatur dengan kecepatan 5 mm/s, *distance* 5,0 mm kemudian ditekan OK untuk menjalankan *texture analyzer*.
- d. Angka *peak load* dan *final load* dengan satuan gram force (g_f) yang tertera pada *display* dicatat.

3.4.11. Rasio Tinggi/Diameter Roti

Pengukuran rasio tinggi/diameter roti dilakukan untuk mengetahui tebal tipisnya roti. Cara pengukurannya adalah sampel roti diukur ketebalannya secara vertikal pada 3 tempat yang berbeda menggunakan *micrometer skrup*. Selanjutnya diukur diameter roti pada 3 tempat yang berbeda menggunakan *micrometer skrup*.

$$\text{Rasio tinggi/diameter roti} = \frac{\text{Tinggi roti (mm)}}{\text{diameter roti (mm)}} \quad (7)$$

3.4.12. Uji Hedonik

Uji hedonik roti dilakukan terhadap rasa, warna, tekstur, dan aroma roti (Pratama, 2012). Pengujian dilakukan oleh 50 panelis. Penilaian kesukaan panelis terdapat sampel roti dengan cara memberikan nilai dalam skala 1 sampai dengan 7 pada sampel roti yang disajikan dalam piring yang diberi kode 3 digit angka secara acak. Skala nilai hedonik :

1. Sangat tidak suka
2. Tidak suka
3. Agak tidak suka
4. Biasa
5. Agak suka
6. Suka
7. Sangat suka

Lembar kuisioner penilaian uji hedonik dapat dilihat pada Lampiran 18.

3.5. Analisis Statistik

Data yang diperoleh diolah menggunakan teknik pengolahan data statistik parametrik, sedangkan data analisa hedonik dilakukan analisa data non parametrik.

3.5.1. Analisis Statistik Parametrik

Data pengujian sifat fisik dan profil gel dianalisis menggunakan analisis parametrik untuk Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan 3 faktor perlakuan. Langkah yang dilakukan adalah membuat Tabel kombinasi total, Tabel kombinasi faktor AB, AC, BC, dan ABC. Selanjutnya dibuat Tabel ANOVA 3 faktor.

Signifikansi pada analisis keragaman dilakukan dengan membandingkan F_{tabel} pada uji 5%. Apabila hasil analisis keragaman berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji BNJ untuk mengetahui perbedaan dalam setiap percobaan. Untuk mengetahui tingkat ketelitian dilakukan dengan uji koefisien keragaman.

3.5.2. Analisis Statistik Non Parametrik

Data pengujian hedonik dianalisis menggunakan uji *Friedman Conover* (Pratama, 2013). Langkah pertama dalam pengujian ini adalah memberi pangkat (urutan) mulai dari nilai terkecil hingga terbesar kepada masing-masing nilai kesukaan. Apabila ada nilai yang sama maka nilai pangkat dijumlahkan dan dibagi dengan frekuensi nilai tersebut. Masing-masing pangkat dikuadratkan dan hasilnya dijumlahkan (A), selanjutnya dihitung jumlah kuadrat perlakuan (B) dengan rumus

$$T = \frac{(b - 1) \left[B - \frac{bt((t + 1)^2)}{4} \right]}{A - B}$$

Keterangan:

T = Nilai kritis

A = Jumlah kuadrat total

B = Jumlah kuadrat perlakuan

t = Jumlah perlakuan

b = Jumlah panelis

Nilai jumlah kuadrat total (A) dihitung menggunakan rumus:

$$A = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^t (X_{ij})^2$$

Jumlah kuadrat (B) dihitung menggunakan rumus:

$$B = \frac{1}{b} \left(\sum_{i=1}^b X_j \right)^2$$

Nilai T dibandingkan dengan Tabel distribusi F dengan $(t-1)$ dan $(b-1)(t-1)$ pada tingkat yang diinginkan 5% atau 1%. Kesimpulan yang diperoleh dari uji *Friedman Conover* adalah :

H_0 : semua sampel sama atau tidak berbeda

H_1 : paling sedikit ada satu pasang sampel yang berbeda

Jika nilai T lebih kecil atau sama dengan nilai F-tabel kesimpulannya adalah menerima H_0 berarti tidak ada pengaruh dari perlakuan yang diuji. Jika nilai T lebih besar dari F-tabel, H_1 diterima yang berarti paling sedikit ada sepasang perlakuan yang berbeda nyata. Untuk mengetahui perlakuan mana yang berbeda setelah memperoleh kesimpulan H_1 yang benar, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$X = t_{(1-\alpha/2, (b-1)(t-1))} \sqrt{\frac{2(b A - \sum_{j=1}^t R_j^2)}{(b-1)(t-1)}}$$

Dimana :

$$R = \sum_{i=1}^b X_j$$

Jika selisih jumlah pangkat antara dua perlakuan lebih besar dari nilai X berarti kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Jika selisih jumlah pangkat antara dua perlakuan lebih kecil atau sama dengan nilai X berarti perlakuan tersebut berbeda tidak nyata.

BAB 4

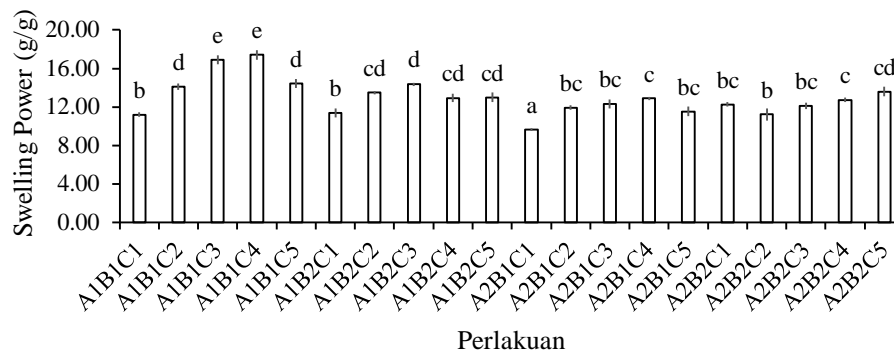
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Fisik Pati Ganyong Termodifikasi HMT dan Penambahan GX

Karakteristik fisik yang diamati dalam penelitian ini antara lain *swelling power* (SP), indeks kelarutan dalam air (IKA), indeks absorpsi air (IAA), derajat pengembangan (DP), densitas kamba dan tekstur gel pati.

4.1.1. *Swelling Power*

Swelling power (SP) mencerminkan kemampuan granula pati mengembang setelah menyerap air. Rerata hasil analisis SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Gambar 4.1. SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX berkisar antara $9,64 \pm 0,10$ sampai $17,41 \pm 0,49$ g/g.



Keterangan:

A1: Suhu 80° C,

A2: Suhu 100° C

B1: Waktu 8 jam,

B2: Waktu 16 jam

C1: Konsentrasi GX 0%

C2: Konsentrasi GX 0,5%

C3: Konsentrasi GX 1%

C4: Konsentrasi GX 1,5%

C5: Konsentrasi GX 2%

Huruf yang sama pada diagram batang berarti berbeda tidak nyata.

Gambar 4.1. *Swelling power* pati ganyong termodifikasi HMT- GX

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), serta interaksi antara perlakuan AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX. Hasil uji BNJ pengaruh faktor perlakuan A, B, C, interaksi AB, AC, BC dan ABC

terhadap SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa SP pada perlakuan suhu 100°C berbeda nyata dengan perlakuan suhu 80°C, waktu HMT 16 jam berbeda nyata dengan waktu 8 jam, dan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan konsentrasi GX 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu HMT menghasilkan SP yang semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh energi panas yang dihasilkan selama pemanasan pati ganyong pada perlakuan HMT suhu 80°C mempengaruhi ikatan hidrogen inter dan intra molekul amilosa dan amilopektin dalam granula pati yang mengakibatkan berubahnya keteraturan struktur granula pati. Ikatan hidrogen merupakan ikatan kimia yang lemah. Kondisi ini memberikan peluang air untuk mengimbibisi granula pati. Jumlah air yang terbatas pada granula pati selama HMT menyebabkan pergerakan maupun interaksi antara air dan molekul amilosa atau amilopektin terbatas. Pada suhu pemanasan 100°C dan waktu 16 jam menyebabkan pengaturan kembali (*re-arrangement*) molekul amilosa dan amilopektin di dalam granula pati semakin rapat yang berakibat pada menurunnya kemampuan pengembangan granula pati. Oleh karena itu modifikasi pati ganyong yang dihasilkan pada proses HMT suhu tinggi dan waktu lama menghasilkan SP rendah.

Tabel 4.1. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A), waktu HMT (B), dan konsentrasi GX (C) terhadap *Swelling Power* pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	<i>Swelling power</i> (g/g)	
A2 (Suhu 100° C)	12,02±0,4	a
A1 (Suhu 80° C)	13,92±0,34	b
B2 (Waktu 16 jam)	12,70±0,35	a
B1 (Waktu 8 jam)	13,23±0,37	b
C1 (Konsentrasi GX 0%)	11,11±0,25	a
C2 (Konsentrasi GX 0,5%)	12,69±0,33	b
C5 (Konsentrasi GX 2%)	13,14±0,36	b
C3 (Konsentrasi GX 1%)	13,91±0,34	c
C4 (Konsentrasi GX 1,5%)	13,99±0,50	c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. Nilai BNJ 5% suhu dan waktu HMT = 0,20, BNJ 5% konsentrasi GX = 0,45

Nilai SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX kemungkinan juga disebabkan oleh gelatinisasi parsial pati ganyong dalam kadar air yang terbatas (15%) karena suhu gelatinisasi pati ganyong berkisar antara 73,7°C dan 76°C (Watcharatewinkul *et al.*, 2009, Puncha-Arnon *et al.*, 2007), sementara proses HMT dilakukan pada suhu 80° C dan 100° C. Gelatinisasi parsial dapat menyebabkan sebagian granula mengembang karena telah terganggunya ikatan hidrogen antara amilosa dan amilosa, amilosa dan amilopektin, maupun amilopektin dan amilopektin. Selain itu, proses hidrotermal juga menyebabkan terjadinya hidrolisis parsial pati. Pati dengan berat molekul rendah mempunyai kemampuan pengembangan yang terbatas.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penjelasan Syamsir *et al.* (2012) bahwa perubahan sifat pati selama HMT dipengaruhi oleh kondisi proses yaitu suhu, waktu dan kadar air pati. Hasil penelitian Putri *et al.* (2014) pada tepung ubi rambat, Noranizan *et al.* (2010) pada pati tapioka, sagu dan kentang, Onyango *et al.* (2013) pada tapioka, Sui *et al.* (2015) pada pati jagung, Adebawale *et al.* (2005) pada pati sorghum merah, Herawati *et al.* (2010) pada pati sagu, dan Lorenz dan Kulp (1982) pada tapioka dan pati garut menghasilkan kecenderungan yang sama dengan hasil penelitian ini, semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu HMT menghasilkan SP yang semakin rendah. Noranizan *et al.* (2010) melaporkan bahwa SP pati sagu, tapioka dan kentang mencapai puncak pada suhu 100°C selama 1 jam dan menurun pada suhu 110°C selama 1 jam.

SP pati ganyong semakin meningkat dengan penambahan GX sampai dengan 1,5%. SP tertinggi dihasilkan pada perlakuan konsentrasi GX 1,5% yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi GX 1%, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi GX yang lain. Pada konsentrasi rendah (GX 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%), SP pati ganyong meningkat dengan meningkatnya konsentrasi GX, tetapi SP pati ganyong menurun pada konsentrasi GX 2%. Hal ini diduga pada konsentrasi rendah ($\leq 1,5\%$) GX dapat meningkatkan kestabilan interaksi antar granula pati yang tergelatinisasi, sehingga dapat memfasilitasi masuknya molekul air. Akan tetapi pada konsentrasi GX 2%, GX dapat menurunkan mobilitas fraksi air dalam sistem dan mengurangi hidrasi bagian

amorphous granula pati yang mempengaruhi pengaturan kembali amilosa dan amilopektin penyusun granula pati.

Tabel 4.2. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap *Swelling Power* (SP) pati ganyong termodifikasi HMT-GX.

Perlakuan	<i>Swelling power</i> (g/g)
A2B1 (Suhu 100° C, waktu 8 jam)	11,66±0,29 a
A2B2 (Suhu 100° C, waktu 16 jam)	12,38±0,39 b
A1B2 (Suhu 80° C, waktu 16 jam)	13,02±0,30 c
A1B1 (Suhu 80° C, waktu 8 jam)	14,81±0,40 d
A2C1 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 0%)	10,95±0,17 a
A1C1 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 0%)	11,28±0,34 a
A2C2 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 0,5%)	11,57±0,42 a b
A2C3 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 1%)	12,20±0,39 b
A2C5 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 2%)	12,57±0,52 b
A2C4 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 1,5%)	12,81±0,22 b
A1C5 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 2%)	13,71±0,48 c
A1C2 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 0,5%)	13,80±0,20 c
A1C4 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 1,5%)	15,17±0,46 d
A1C3 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 1%)	15,62±0,33 d
B1C1 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0%)	10,41±0,16 a
B2C1 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0%)	11,81±0,34 b
B2C2 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0,5%)	12,35±0,39 b
B2C4 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5%)	12,83±0,34 c
B1C5 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 2%)	12,99±0,49 c
B1C2 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0,5%)	13,03±0,27 c
B2C3 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1%)	13,22±0,26 c
B2C5 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%)	13,29±0,51 c
B1C3 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%)	14,60±0,47 d
B1C4 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5%)	15,15±0,34 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi AB = 0,31, BNJ 5% interaksi AC dan interaksi BC = 0,75.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Mandala dan Bayas (2004) yang melaporkan bahwa penambahan GX pada pati gandum dapat meningkatkan SP. Pada suhu 70°C, GX dapat meningkatkan kestabilan interaksi antar granula pati yang tergelatinisasi, sehingga dapat memfasilitasi masuknya molekul air. Pada suhu yang lebih tinggi (90°C), terjadi interaksi GX dan amilosa yang keluar dari granula. Hasil interaksi tersebut melapisi granula pati sehingga menghalangi masuknya molekul air ke dalam pati. Hal inilah yang menyebabkan menurunkan pembengkakan granula pati.

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa interaksi suhu 80°C dan waktu 8 jam menghasilkan SP yang berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lainnya, interaksi antara perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 1% berbeda tidak nyata dengan perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 1,5%, tetapi berbeda nyata dengan interaksi perlakuan suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Selanjutnya interaksi waktu HMT 8 jam dan konsentrasi GX 1,5% menghasilkan SP yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan interaksi waktu HMT 8 jam dan konsentrasi 1%, tetapi berbeda nyata dengan interaksi antara waktu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Hal ini disebabkan oleh pengaturan kembali molekul amilosa dan amilopektin di dalam granula pati, hidrolisis parsial pati, dan gelatinisasi parsial pati ganyong selama pemanasan pada kadar air rendah (15%). Energi yang diserap granula pati selama pemanasan akan membuka lipatan heliks ganda amilopektin dan memfasilitasi pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul (Syamsir *et al.*, 2012). Pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul di dalam granula pati ganyong dipengaruhi oleh suhu dan waktu HMT. Pada penelitian ini, interaksi suhu 80°C dan waktu 8 jam menghasilkan SP tertinggi yang berbeda nyata dengan interaksi suhu dan waktu HMT yang lain.

Peningkatan SP dengan penambahan GX selama proses HMT mengindikasikan bahwa GX mampu menghalangi proses pengaturan kembali (*re-arrangement*) amilosa di dalam granula pati ganyong selama proses HMT berlangsung. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya interaksi gugus hidroksil manosa pada GX dengan gugus hidroksil glukosa pada pati ganyong selama proses HMT berlangsung. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh Weber *et al.* (2009) bahwa interaksi antara pati jagung dan gum xanthan melalui ikatan hidrogen.

Swelling power tertinggi (17,41g/g) terdapat pada perlakuan suhu 80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5% yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan suhu 80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%, tetapi berbeda nyata dengan interaksi perlakuan yang lain (Tabel 3.3). HMT pada suhu 80°C selama 8 jam dan konsentrasi gum xanthan 1,5 % mampu meningkatkan *swelling power* pati ganyong dari 14,27 g/g menjadi 17,41 g/g. Hal ini disebabkan oleh GX merupakan

hidrokoloid yang dapat menurunkan mobilitas fraksi air dalam sistem dan mengurangi hidrasi bagian *amorphous* granula pati (Weber *et al.*, 2009) yang mempengaruhi pengaturan kembali amilosa dan amilopektin penyusun granula pati. Karakteristik yang diinginkan pada modifikasi kombinasi HMT dan GX adalah pati yang memiliki SP tinggi. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan produk roti bebas gluten yang mengembang.

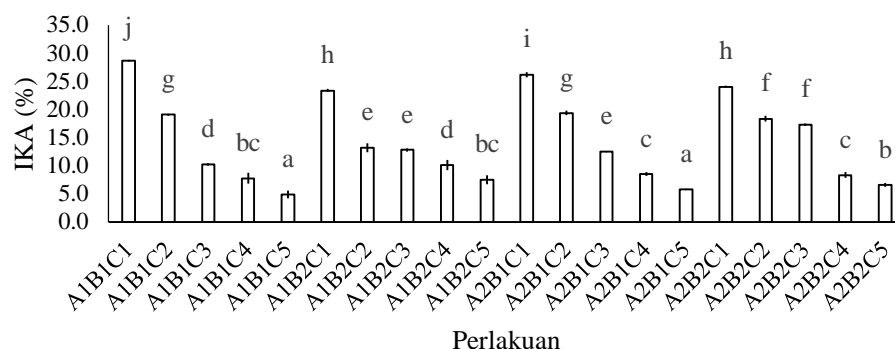
Tabel 4.3. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap SP pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, waktu, konsentrasi GX)	Swelling power (g/g)
A2B1C1 (100° C, 8 jam, 0%)	9,64±0,10 a
A1B1C1 (80° C, 8 jam, 0%)	11,19±0,22 b
A2B2C2 (100° C, 16 jam, 0,5%)	11,21±0,62 b
A1B2C1 (80° C, 16 jam, 0%)	11,37±0,45 b
A2B1C5 (100° C, 8 jam, 2%)	11,54±0,52 b c
A2B1C2 (100° C, 8 jam, 0,5%)	11,93±0,21 b c
A2B2C3 (100° C, 16 jam, 1%)	12,10±0,33 b c
A2B2C1 (100° C, 16 jam, 0%)	12,25±0,23 b c
A2B1C3 (100° C, 8 jam, 1%)	12,30±0,46 b c
A2B2C4 (100° C, 16 jam, 1,5%)	12,74±0,25 c
A2B1C4 (100° C, 8 jam, 1,5%)	12,89±0,18 c
A1B2C4 (80° C, 16 jam, 1,5%)	12,93±0,42 c d
A1B2C5 (80° C, 16 jam, 2%)	12,99±0,49 c d
A1B2C2 (80° C, 16 jam, 0,5%)	13,48±0,17 c d
A2B2C5 (100° C, 16 jam, 2%)	13,60±0,52 c d
A1B1C2 (80° C, 8 jam, 0,5%)	14,12±0,33 d
A1B2C3 (80° C, 16 jam, 1%)	14,35±0,19 d
A1B1C5 (80° C, 8 jam, 2%)	14,43±0,47 d
A1B1C3 (80° C, 8 jam, 1%)	16,90±0,48 e
A1B1C4 (80° C, 8 jam, 1,5%)	17,41±0,49 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi ABC = 0,75)

4.1.2. Indeks Kelarutan dalam Air (IKA)

Hasil analisis IKA pati ganyong termodifikasi HMT dan GX disajikan pada Gambar 4.2. IKA pati ganyong termodifikasi HMT dan GX berkisar antara 4,94±0,67% sampai 28,63±0,09%. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), konsentrasi GX (C), dan interaksi antara AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap IKA pati ganyong termodifikasi HMT-GX, sedangkan waktu HMT (B) berpengaruh tidak nyata. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) pengaruh perlakuan A, C, interaksi AB, AC, BC, dan ABC terhadap IKA pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.4, Tabel 4,6 dan Tabel 4.7.



Keterangan:

A1: Suhu 80°C,

A2: Suhu 100° C

B1: Waktu 8 jam,

B2: Waktu 16 jam

C1: Konsentrasi GX 0%

C2: Konsentrasi GX 0,5%

C3: Konsentrasi GX 1%

C4: Konsentrasi GX 1,5%

C5: Konsentrasi GX 2%

Huruf yang sama pada diagram batang berarti berbeda tidak nyata.

Gambar 4.2. IKA pati ganyong termodifikasi HMT dan GX

Tabel 4.4. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap IKA pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	IKA (%)
A1(Suhu 80° C)	13,79±0,52 a
A2(Suhu 100° C)	14,72±0,31 b
C5(Konsentrasi GX 2%)	6,22±0,47 a
C4(Konsentrasi GX 1,5%)	8,72±0,68 b
C3(Konsentrasi GX 1%)	13,24±0,22 c
C2(Konsentrasi GX 0,5%)	17,53±0,46 d
C1(Konsentrasi GX 0%)	25,57±0,23 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% suhu HMT = 0,25, BNJ 5% konsentrasi GX = 0,56)

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa perlakuan HMT pada suhu 80°C berbeda nyata dengan perlakuan suhu 100°C dan perlakuan konsentrasi GX 2% berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi GX yang lain. IKA pati ganyong meningkat dengan meningkatnya suhu HMT. Pemanasan pati ganyong selama proses HMT pada suhu 100°C dapat memutuskan sebagian ikatan hidrogen dalam pati. Keadaan ini berdampak pada lebih sederhananya molekul pati sehingga lebih mudah larut dalam air. Hal ini sesuai dengan pernyataan Jane (2004) bahwa pemanasan pati yang telah membengkak menyebabkan berkurangnya struktur heliks ganda di bagian kristalin dan persilangan maltese (*maltese cross*). Lebih lanjut Senanayake

et al. (2013) dan Noranizan *et al.* (2010) melaporkan granula pati yang telah mencapai pembengkakan maksimum pada suhu tinggi dapat terdegradasi. Pati yang telah terdegradasi mempunyai berat molekul lebih rendah sehingga IKA lebih tinggi. Hal yang sama dilaporkan oleh Lorenz *et al.* (1982) bahwa panas yang diberikan selama HMT pati yang berasal dari umbi-umbian seperti ubikayu dan garut menyebabkan degradasi amilosa yang berada pada bagian *amorphous*. Amilosa yang telah terdegradasi bersifat lebih mudah larut dalam air. Oleh karena itu, IKA pati ganyong pada HMT suhu 100° C lebih tinggi dibandingkan suhu 80° C.

Konsentrasi GX yang semakin tinggi menghasilkan IKA yang semakin rendah. Sifat GX yang mampu mengikat air, membatasi tersedianya air bebas selama perlakuan HMT sehingga menghambat proses hidrolisis pati. Perubahan IKA selama modifikasi pati ganyong berkorelasi negatif dengan SP ($r = - 0,57$). Korelasi antar perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.5. Hal ini mencerminkan GX dapat menghambat pengaturan kembali molekul pati (amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, dan amilopektin-amilopektin) selama HMT dan proses hidrolisis pati oleh panas.

Tabel 4.5. Korelasi antar perlakuan

	IAA	DP	SP	IKA
IAA	1			
DP	0.37	1		
SP	0.33	0.25	1	
IKA	-0.72	-0.27	-0.57	1

Hasil uji BNJ (Tabel 4.6) menunjukkan bahwa interaksi suhu 80°C dan waktu 16 jam berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lainnya. Selanjutnya interaksi antara perlakuan suhu 100°C dan konsentrasi GX 2% berbeda tidak nyata dengan perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 2%, tetapi berbeda nyata dengan interaksi perlakuan suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Interaksi waktu HMT 16 jam dan konsentrasi GX 2% berbeda nyata dengan interaksi perlakuan waktu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Hal ini disebabkan oleh proses hidrolisis pati ganyong yang lebih lambat pada interaksi suhu 80°C dan

waktu 16 jam, suhu 100°C dan konsentrasi GX 2%, suhu 80°C dan konsentrasi GX 2%, dan waktu HMT 16 jam dan konsentrasi GX 2% dibandingkan interaksi perlakuan yang lainnya. Hasil penelitian ini sejalan dengan Senanayake *et al.* (2013) pada HMT ubi jalar, Noranizan *et al.* (2010) pada pati tapioka, sago, dan kentang, dan Lopenz *et al.* (1982) pada HMT tapioka dan pati garut yang menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu pemanasan menghasilkan IKA semakin meningkat.

Tabel 4.6. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap Indeks Kelarutan dalam Air pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	IKA (%)	
A1B2 (Suhu 80° C, waktu 16 jam)	13,43±0,60	a
A1B1 (Suhu 80° C, waktu 8 jam)	14,15±0,43	b
A2B1 (Suhu 100° C, waktu 8 jam)	14,51±0,27	b
A2B2 (Suhu 100° C, waktu 16 jam)	14,94±0,35	c
A2C5 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 2%)	6,20±0,22	a
A1C5 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 2%)	6,23±0,72	a
A2C4 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 1,5%)	8,46±0,40	b
A1C4 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 1,5%)	8,97±0,95	b
A1C3 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 1%)	11,55±0,25	c
A2C3 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 1%)	14,93±0,19	d
A1C2 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 0,5%)	16,18±0,50	e
A2C2 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 0,5%)	18,89±0,42	f
A2C1 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 0%)	25,12±0,30	g
A1C1 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 0%)	26,01±0,17	g
B1C5 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 2%)	5,38±0,39	a
B2C5 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%)	7,06±0,55	b
B1C4 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5%)	8,19±0,65	c
B2C4 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5%)	9,25±0,70	d
B1C3 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%)	11,41±0,18	e
B2C3 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1%)	15,07±0,26	f
B2C2 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0,5%)	15,81±0,65	f
B1C2 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0,5%)	19,26±0,27	g
B2C1 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0%)	23,72±0,20	h
B1C1 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0%)	27,41±0,26	i

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi AB = 0,38, BNJ interaksi AC dan interaksi BC= 0,93).

Interaksi perlakuan suhu 80° C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 2% berbeda tidak nyata dengan perlakuan suhu 100° C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 2% tetapi berbeda nyata dengan perlakuan yang lain (Tabel 4.7). Perlakuan modifikasi pati ganyong yang mempunyai IKA mendekati tepung terigu adalah perlakuan suhu

80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1% yang nilainya 10,28%. Peran pati pada pembuatan roti sebagai pembentuk struktur roti (*structure of baked-product system*) (Miyazaki *et al.*, 2006). Oleh karena itu diperlukan pati dengan IKA rendah yaitu pada perlakuan interaksi suhu 80° C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 2% dan perlakuan suhu 100° C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 2% masing-masing mempunyai nilai IKA 4,94 % dan 5,82 %. Pati dengan IKA rendah diharapkan dapat menghasilkan struktur roti yang mampu membentuk matrik berongga besar, seragam dan banyak.

Tabel 4.7. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap Indeks kelarutan dalam Air (IKA) pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, waktu, konsentrasi GX)	IKA (%)
A1B1C5 (80° C, 8 jam, 2%)	4,94±0,67 a
A2B1C5 (100° C, 8 jam, 2%)	5,82±0,11 a
A2B2C5 (100° C, 16 jam, 2%)	6,59±0,33 b
A1B2C5 (80° C, 16 jam, 2%)	7,53±0,76 bc
A1B1C4 (80° C, 8 jam, 1,5%)	7,81±0,98 bc
A2B2C4 (100° C, 16 jam, 1,5%)	8,36±0,49 c
A2B1C4 (100° C, 8 jam, 1,5%)	8,57±0,31 c
A1B2C4 (80° C, 16 jam, 1,5%)	10,14±0,91 d
A1B1C3 (80° C, 8 jam, 1%)	10,28±0,25 d
A2B1C3 (100° C, 8 jam, 1%)	12,55±0,12 e
A1B2C3 (80° C, 16 jam 1%)	12,83±0,26 e
A1B2C2 (80° C, 16 jam 0,5%)	13,24±0,81 e
A2B2C3 (100° C, 16 jam, 1%)	17,32±0,27 f
A2B2C2 (100° C, 16 jam, 0,5%)	18,37±0,48 f
A1B1C2 (80° C, 8 jam, 0,5%)	19,11±0,18 g
A2B1C2 (100° C, 8 jam, 0,5%)	19,41±0,36 g
A1B2C1 (80° C, 16 jam, 0%)	23,39±0,25 h
A2B2C1 (100° C, 16 jam, 0%)	24,04±0,16 h
A2B1C1 (100° C, 8 jam, 0%)	26,19±0,43 i
A1B1C1 (80° C, 8 jam, 0%)	28,63±0,09 j

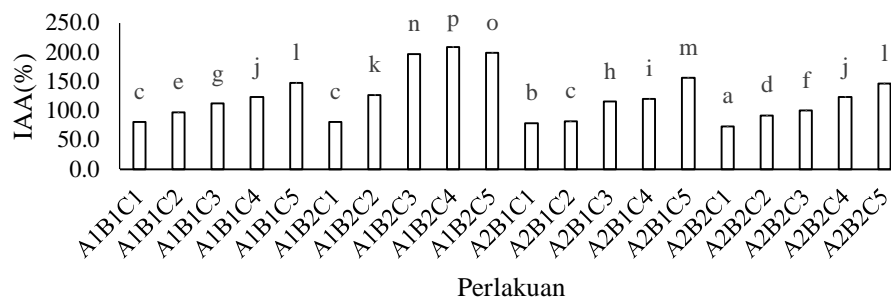
Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi ABC = 1,49)

4.1.3. Indeks Absorpsi Air (IAA)

Indeks Absorpsi Air (IAA) merupakan kemampuan pati dalam mengabsorpsi air. Hasil analisis IAA pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Gambar 4.3. IAA pati ganyong termodifikasi HMT-GX berkisar antara 73,61±0,39% sampai 209,41±0,71%.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), serta interaksi AB, AC, BC, dan ABC

berpengaruh nyata terhadap IAA pati ganyong termodifikasi HMT-GX. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) pengaruh perlakuan A, B, C, interaksi AB, AC, BC, dan ABC terhadap IAA pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.8, Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.



Keterangan:

A1: Suhu 80° C,

A2: Suhu 100° C

B1: Waktu 8 jam,

B2: Waktu 16 jam

C1: Konsentrasi GX 0%

C2: Konsentrasi GX 0,5%

C3: Konsentrasi GX 1%

C4: Konsentrasi GX 1,5%

C5: Konsentrasi GX 2%

Huruf yang sama pada diagram batang berarti berbeda tidak nyata.

Gambar 4.3. IAA pati ganyong termodifikasi HMT dan GX

Hasil uji BNJ (Tabel 4.8) menunjukkan bahwa IAA pada perlakuan suhu 100°C berbeda nyata dengan perlakuan suhu 80°C, waktu 8 jam berbeda nyata dengan waktu 16 jam, dan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan konsentrasi GX 0,5%, 1%, 1,5%, 2%. Semakin rendah suhu HMT, semakin lama waktu HMT, dan semakin tinggi konsentrasi GX menghasilkan IAA yang semakin tinggi.

HMT pada suhu 80°C menghasilkan IAA lebih tinggi dibandingkan suhu 100°C. Hal ini terjadi karena pemanasan pati ganyong berkadar air rendah (15%) pada suhu 80°C mempengaruhi ikatan hidrogen inter- dan intra- molekuler amilosa dan amilopektin dalam granula pati yang mengakibatkan berubahnya keteraturan struktur granula pati. Kondisi ini memberi peluang pada air untuk mengimbibisi granula pati. Sesuai dengan pernyataan Ratnayake dan Jackson (2006) bahwa energi yang diserap granula pati selama pemanasan dapat membuka lipatan heliks ganda amilopektin dan memfasilitasi pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul.

Tabel 4.8. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A), waktu HMT (B), dan konsentrasi GX (C) terhadap Indeks Absorpsi Air (IAA) (%) pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	IAA (%)
A2(Suhu 100° C)	109,03±0,63 a
A1(Suhu 80° C)	137,61±0,38 b
B1(Waktu 8 jam)	111,60±0,51 a
B2(Waktu 16 jam)	135,04±0,50 b
C1(Konsentrasi GX 0%)	78,55±0,22 a
C2(Konsentrasi GX 0,5%)	99,92±0,81 b
C3(Konsentrasi GX 1%)	131,44±0,37 c
C4(Konsentrasi GX 1,5%)	144,31±0,52 d
C5(Konsentrasi GX 2%)	162,37±0,61 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% suhu dan waktu HMT = 0,32, BNJ 5% konsentrasi GX = 0,72.

Ikatan baru antara molekul amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, dan amilopektin-amilopektin selama HMT pada suhu 100°C diduga lebih kompak dibandingkan suhu 80°C sehingga IAA nya lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Syamsir *et al.* (2012) bahwa suhu HMT yang lebih tinggi dapat meningkatkan daerah kristalin dengan semakin kuatnya ikatan intra molekul amilosa dan amilopektin pada daerah tersebut.

Waktu HMT 16 jam menghasilkan pati ganyong dengan IAA lebih tinggi dibandingkan waktu HMT 8 jam (Tabel 4.7). Hal ini menunjukkan semakin lama waktu HMT, semakin tinggi kemampuan pati mengabsorpsi air. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan proses gelatinisasi parsial pati ganyong. Waktu HMT yang lebih lama menyebabkan peningkatan jumlah pati ganyong yang tergelatinisasi secara parsial karena suhu gelatinisasi pati ganyong berkisar antara 73,7°C sampai 76°C (Watcharatewinkul *et al.*, 2009, Puncha-Arnon *et al.*, 2007). Pada proses gelatinisasi parsial terjadi pemutusan sebagian ikatan hidrogen antara amilosa dan amilosa, amilosa dan amilopektin, maupun amilopektin dan amilopektin. Gugus hidroksil yang bebas akan menyerap air, sehingga terjadi pembekuan pati. Dengan demikian semakin banyak jumlah gugus hidroksil bebas dari molekul pati maka kemampuan menyerap air semakin tinggi (Richana dan Sunarti, 2004). Selama proses gelatinisasi parsial, sebagian granula pati mengikat air sehingga IAA pati ganyong semakin besar dengan semakin lamanya waktu HMT.

Tabel 4.9. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap Indeks Absorpsi Air pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	IAA (%)
A2B2(Suhu 100° C, waktu 16 jam)	107,36±0,53 a
A2B1(Suhu 100° C, waktu 8 jam)	110,73±0,73 b
A1B1(Suhu 80° C, waktu 8 jam)	112,47±0,29 c
A1B2(Suhu 80° C, waktu 16 jam)	162,75±0,47 d
A2C1(Suhu 100° C, konsentrasi GX 0%)	76,11±0,23 a
A1C1(Suhu 80° C, konsentrasi GX 0%)	81,00±0,21 b
A2C2(Suhu 100° C, konsentrasi GX 0,5%)	87,34±1,39 c
A2C3(Suhu 100° C, konsentrasi GX 1%)	108,17±0,37 d
A1C2(Suhu 80° C, konsentrasi GX 0,5%)	112,49±0,23 e
A2C4(Suhu 100° C, konsentrasi GX 1,5%)	122,09±0,58 f
A2C5(Suhu 100° C, konsentrasi GX 2%)	151,45±0,60 g
A1C3(Suhu 80° C, konsentrasi GX 1%)	154,71±0,37 h
A1C4(Suhu 80° C, konsentrasi GX 1,5%)	166,54±0,46 i
A1C5(Suhu 80° C, konsentrasi GX 2%)	173,29±0,63 j
B2C1(Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0%)	77,18±0,31 a
B1C1(Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0%)	79,93±0,12 b
B1C2(Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0,5%)	90,01±0,97 c
B2C2(Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0,5%)	109,82±0,66 d
B1C3(Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%)	114,27±0,37 e
B1C4(Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5%)	121,86±0,46 f
B2C3(Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1%)	148,61±0,37 g
B1C5(Waktu 8 jam, konsentrasi GX 2%)	151,92±0,63 h
B2C4(Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5%)	166,77±0,58 i
B2C5(Waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%)	172,82±0,60 j

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi AB = 0,49, BNJ 5% interaksi AC dan BC = 1,20.

IAA pati ganyong meningkat dengan meningkatnya konsentrasi GX (Gambar 4.3). Tabel 4.8 menunjukkan IAA tertinggi dihasilkan pada perlakuan konsentrasi GX 2% yang berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi GX yang lain. Hal ini disebabkan oleh GX merupakan hidrokoloid yang mampu mengikat air, semakin tinggi konsentrasi GX semakin banyak air yang terikat sehingga IAA pati termodifikasi HMT-GX juga semakin meningkat.

Tabel 4.9 menunjukkan interaksi suhu 80°C dan waktu 16 jam menghasilkan IAA yang berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lainnya. Interaksi antara perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 2% berbeda nyata dengan interaksi perlakuan suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Interaksi waktu HMT 16 jam dan konsentrasi GX 2% berbeda nyata dengan interaksi perlakuan waktu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Hal ini berkaitan

dengan sifat hidrofilik pati ganyong dan hidrokoloid gum xanthan. Sifat hidrofilik pati ganyong paling besar terjadi pada interaksi perlakuan suhu 80° C dan waktu 16 jam karena terputusnya sebagian ikatan hidrogen amilosa dan amilopektin selama perlakuan panas dan gelatinisasi parsial yang menghasilkan gugus hidroksil bebas lebih banyak dibandingkan interaksi suhu dan waktu yang lain.

Tabel 4.10. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT (A), waktu HMT (B) dan konsentrasi GX (C) terhadap Indeks Absorpsi Air (IAA) pati ganyong termodifikasi HMT-GX

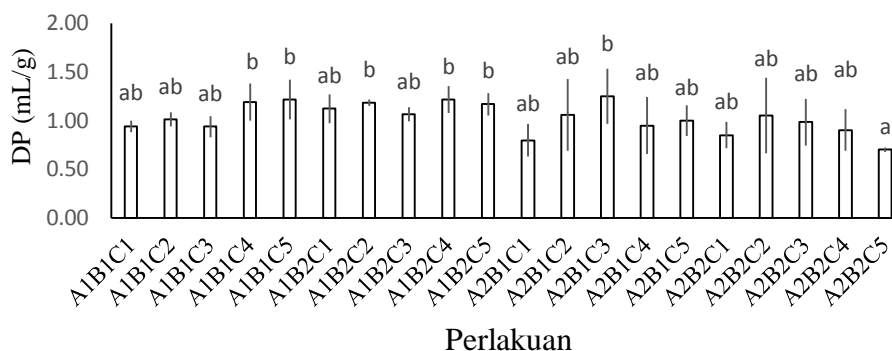
Perlakuan (Suhu, waktu, konsentrasi GX)	IAA (%)
A2B2C1 (100° C, 16 jam, 0%)	73,61±0,39 a
A2B1C1 (100° C, 8 jam, 0%)	78,61±0,07 b
A1B2C1 (80° C, 16 jam, 0%)	80,75±0,24 c
A1B1C1 (80° C, 8 jam, 0%)	81,26±0,18 c
A2B1C2 (100° C, 8 jam, 0,5%)	82,41±1,63 c
A2B2C2 (100° C, 16 jam, 0,5%)	92,27±1,16 d
A1B1C2 (80° C, 8 jam, 0,5%)	97,62±0,31 e
A2B2C3 (100° C, 16 jam, 1%)	100,38±0,38 f
A1B1C3 (80° C, 8 jam, 1%)	112,58±0,38 g
A2B1C3 (100° C, 8 jam, 1%)	115,96±0,36 h
A2B1C4 (100° C, 8 jam, 1,5%)	120,05±0,71 i
A1B1C4 (80° C, 8 jam, 1,5%)	123,67±0,21 j
A2B2C4 (100° C, 16 jam, 1,5%)	124,13±0,45 j
A1B2C2 (80° C, 16 jam, 0,5%)	127,37±0,16 k
A2B2C5 (100° C, 16 jam, GX 2%)	146,29±0,29 l
A1B1C5 (80° C, 8 jam, 2%)	147,23±0,36 l
A2B1C5 (100° C, 8 jam, 2%)	156,61±0,90 m
A1B2C3 (80° C, 16 jam, 1%)	196,84±0,35 n
A1B2C5 (80° C, 16 jam, 2%)	199,36±0,90 o
A1B2C4 (80° C, 16 jam, 1,5%)	209,41±0,71 p

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ5%. BNJ 5% interaksi ABC = 1,92)

Tabel 4.10 menunjukkan IAA pada perlakuan interaksi suhu 80° C, waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5% berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Nilai IAA pati ganyong termodifikasi HMT-GX berkorelasi positif dengan SP ($r = 0,33$). Sebagai bahan baku roti dipilih pati ganyong termodifikasi HMT-GX yang mempunyai IAA tertinggi (209,41%) yaitu perlakuan A1B2C4 (suhu 80° C, waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5%) untuk dapat menghasilkan adonan roti yang dapat membentuk matrik berpori besar dan banyak.

4.1.4. Derajat Pengembangan (DP) Pati

Derajat pengembangan (DP) pati adalah kemampuan pati mengembang apabila dibuat adonan yang dipanggang. Hasil analisis DP pati ganyong termodifikasi HMT dan GX disajikan pada Gambar 4.4. DP pati ganyong termodifikasi HMT dan GX berkisar antara $0,70 \pm 0,02$ mL/g sampai $1,25 \pm 0,28$ mL/g, sedangkan DP pati ganyong alami dan tepung terigu masing-masing adalah $1,16 \pm 0,16$ mL/g dan $1,08 \pm 0,18$ mL/g. Pola perubahan DP pati ganyong termodifikasi HMT-GX (Gb.4.4) berkorelasi positif dengan pola perubahan SP (Gb.4.1) dan IAA (Gb.4.3). Hal ini menjelaskan bahwa kemampuan GX mengikat air memberikan kontribusi positif terhadap DP pati ganyong.



Keterangan:

A1: Suhu 80°C,

A2: Suhu 100°C

B1: Waktu 8 jam,

B2: Waktu 16 jam

C1: Konsentrasi GX 0%

C2: Konsentrasi GX 0,5%

C3: Konsentrasi GX 1%

C4: Konsentrasi GX 1,5%

C5: Konsentrasi GX 2%

Huruf yang sama pada diagram batang berarti berbeda tidak nyata.

Gambar 4.4. Derajat Pengembangan pati ganyong termodifikasi HMT dan GX

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A) dan interaksi perlakuan AB, AC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap DP pati ganyong termodifikasi HMT-GX, sedangkan waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), dan interaksi BC berpengaruh tidak nyata. Hasil uji BNJ ($\alpha = 5\%$) pengaruh suhu HMT, interaksi AB, AC, ABC terhadap DP pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13.

Tabel 4.11. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT terhadap derajat pengembangan (DP) (mL/g) pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	DP (mL/g)
A2(Suhu 100°C)	0,95±0,23 a
A1(Suhu 80°C)	1,10±0,11 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5% . BNJ 5% suhu HMT = 0,07

Hasil uji BNJ (Tabel 4.11) menunjukkan DP pati ganyong termodifikasi HMT-GX pada perlakuan suhu 80°C berbeda nyata dengan suhu 100°C. Hal ini berhubungan dengan kekompakan pati ganyong yang telah dimodifikasi. Energi panas yang lebih tinggi pada pemanasan suhu 100°C mengakibatkan pati ganyong lebih kompak. Sejalan dengan laporan Chaichaw *et al.* (2011) bahwa interaksi antara molekul pati (amilosa-amilopektin) selama pemanasan mengalami perubahan menjadi heliks ganda yang menghasilkan daerah semi kristalin rantai amilosa-amilopektin pati menjadi lebih kuat. Vamadevan dan Bertoft (2014) menjelaskan bahwa kemampuan mengembang pati berhubungan dengan integritas struktural pati yang dipengaruhi oleh interaksi amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, dan amilopektin-amilopektin di daerah kristalin dan *amorphous*. Oleh karena itu, HMT pada suhu 100°C menghasilkan pati ganyong dengan DP lebih kecil dibandingkan perlakuan pada suhu 80°C karena patinya lebih kompak.

Hasil uji BNJ (Tabel 4.12) menunjukkan interaksi suhu 80°C dan waktu 16 jam berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lainnya. Sedangkan interaksi antara perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 1,5% berbeda nyata dengan interaksi perlakuan suhu 100°C dan konsentrasi GX 0%, tetapi berbeda tidak nyata dengan perlakuan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain.

DP pada perlakuan interaksi suhu 80°C dan konsentrasi GX 1,5% lebih tinggi dibandingkan perlakuan HMT tanpa GX disebabkan oleh sifat GX mempunyai kemampuan mengabsorpsi air cukup besar (Kohajdova dan Karovicova, 2008). Tersedianya air yang lebih banyak selama pemanasan menyebabkan pati ganyong yang tergelatinisasi parsial lebih banyak sehingga porositas matrik gelnya lebih besar.

Tabel 4.12. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap derajat pengembangan (DP) pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	DP (mL/g)
A2B2 (Suhu 100° C, waktu 16 jam)	0,90±0,20 a b
A2B1 (Suhu 100° C, waktu 8 jam)	1,01±0,25 b
A1B1 (Suhu 80° C, waktu 8 jam)	1,06±0,13 b
A1B2 (Suhu 80° C, waktu 16 jam)	1,15±0,10 c
A2C1 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 0%)	0,82±0,15 a
A2C5 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 2%)	0,85±0,09 a b
A2C4 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 1,5%)	0,92±0,25 a b
A1C3 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 1%)	1,00±0,09 a b
A1C1 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 0%)	1,03±0,10 a b
A2C2 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 0,5%)	1,05±0,38 a b
A1C2 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 0,5%)	1,10±0,05 b
A2C3 (Suhu 100° C, konsentrasi GX 1%)	1,11±0,26 b
A1C5 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 2%)	1,19±0,16 b
A1C4 (Suhu 80° C, konsentrasi GX 1,5%)	1,20±0,09 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi AB = 0,11, BNJ 5% interaksi AC = 0,26.

Tabel 4.13 menunjukkan perlakuan interaksi suhu 100°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1% berbeda nyata dengan interaksi suhu 100°C, waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%, tetapi berbeda tidak nyata dengan perlakuan yang lain. Pada pembuatan roti diperlukan pati ganyong dengan DP besar yaitu perlakuan suhu 100° C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%, tetapi perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan yang lain kecuali dengan perlakuan suhu 100°C, waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%.

Hasil pengamatan DP berkorelasi positif dengan SP dan IAA tetapi berkorelasi negatif dengan IKA. Hal ini menjelaskan bahwa DP pati ganyong termodifikasi HMT-GX dipengaruhi oleh kemampuan pati ganyong mengabsorpsi air. Modifikasi ini disebabkan oleh proses pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul dalam granula pati ganyong selama HMT dengan penambahan GX. Vamadevan dan Bertoft (2014) menjelaskan bahwa kemampuan mengembang pati berhubungan dengan integritas struktural pati.

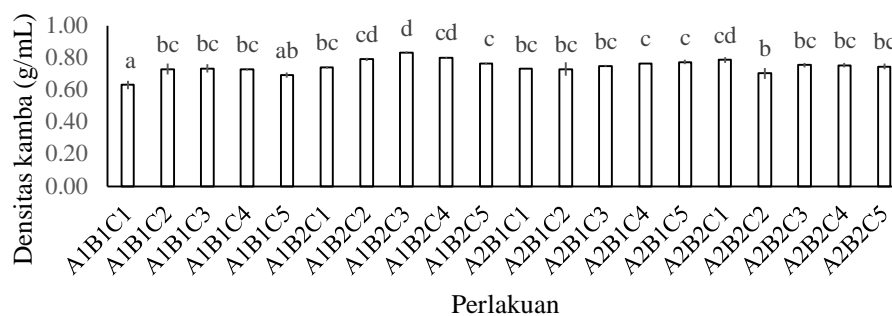
Tabel 4.13. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX terhadap derajat pengembangan (DP) pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, waktu, konsentrasi GX)	DP (mL/g)
A2B2C5 (100°C, 16 jam, 2%)	0,70±0,02 a
A2B1C1 (100°C, 8 jam, 0%)	0,79±0,17 a b
A2B2C1 (100°C, 16 jam, 0%)	0,85±0,14 a b
A2B2C4 (100°C, 16 jam, 1,5%)	0,90±0,21 a b
A1B1C3 (80°C, 8 jam, 1%)	0,94±0,11 a b
A1B1C1 (80°C, 8 jam, 0%)	0,94±0,06 a b
A2B1C4 (100°C, 8 jam, 1,5%)	0,95±0,30 a b
A2B2C3 (100°C, 16 jam, 1%)	0,98±0,24 a b
A2B1C5 (100°C, 8 jam, 2%)	1,00±0,16 a b
A1B1C2 (80°C, 8 jam, 0,5%)	1,01±0,07 a b
A2B2C2 (100°C, 16 jam, 0,5%)	1,05±0,39 a b
A2B1C2 (100°C, 8 jam, 0,5%)	1,06±0,37 a b
A1B2C3 (80°C, 16 jam, 1%)	1,06±0,07 a b
A1B2C1 (80°C, 16 jam, 0%)	1,12±0,15 a b
A1B2C5 (80°C, 16 jam, 2%)	1,17±0,11 b
A1B2C2 (80°C, 16 jam, 0,5%)	1,18±0,03 b
A1B1C4 (80°C, 8 jam, 1,5%)	1,19±0,19 b
A1B2C4 (80°C, 16 jam, 1,5%)	1,21±0,14 b
A1B1C5 (80°C, 8 jam, 2%)	1,21±0,20 b
A2B1C3 (100°C, 8 jam, 1%)	1,25±0,28 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi suhu, waktu HMT dan konsentrasi GX = 0,42

4.1.5. Densitas Kamba

Densitas kamba mencerminkan kerapatan pati ganyong. Densitas kamba yang besar menandakan tingkat kekasaran pati yang besar. Hasil analisis densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT dan GX disajikan pada Gambar 4.5. Densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT dan GX berkisar antara 0,63±0,025 g/mL sampai 0,83±0,017 g/mL. Densitas kamba pati ganyong alami dan tepung terigu masing-masing adalah 0,77±0,03 g/mL dan 0,54±0,01 g/mL. Hasil modifikasi HMT pati ganyong yang dilakukan oleh Kuswandari *et al.* (2013) mendapatkan densitas kamba pati ganyong berkisar antara 0,67 sd 0,75 g/mL yang nilainya lebih tinggi dari densitas kamba pati ganyong alami (0,67 g/mL).



Keterangan:

A1: Suhu 80°C,

A2: Suhu 100°C

B1: Waktu 8 jam,

B2: Waktu 16 jam

C1: Konsentrasi GX 0%

C2: Konsentrasi GX 0,5%

C3: Konsentrasi GX 1%

C4: Konsentrasi GX 1,5%

C5: Konsentrasi GX 2%

Huruf yang sama pada diagram batang berarti berbeda tidak nyata.

Gambar 4.5. Rerata densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT dan GX

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), dan interaksi antara perlakuan AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX, sedangkan suhu HMT (A) berpengaruh tidak nyata. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) pengaruh B, C, interaksi AB, AC, BC, dan ABC terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.14, Tabel 4.15, dan Tabel 4.16.

Tabel 4.14. Hasil uji BNJ pengaruh waktu HMT (B) dan konsentrasi GX (C) terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	Densitas kamba (g/mL)
B1(Waktu 8 jam)	0,73±0,017 a
B2(Waktu 16 jam)	0,77±0,013 b
C1(Konsentrasi GX 0%)	0,72±0,014 a
C2(Konsentrasi GX 0,5%)	0,74±0,029 a b
C5(Konsentrasi GX 2%)	0,75±0,013 b
C4(Konsentrasi GX 1,5%)	0,76±0,006 b
C3(Konsentrasi GX 1%)	0,77±0,013 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% waktu HMT = 0,01, BNJ 5% konsentrasi GX = 0,02

Hasil uji BNJ (Tabel 4.14) menunjukkan densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX pada perlakuan waktu 8 jam berbeda nyata dengan waktu 16 jam. Perlakuan konsentrasi GX 0% berbeda tidak nyata dengan perlakuan

konsentrasi GX 0,5% tetapi berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Perlakuan waktu HMT 8 jam menghasilkan densitas kamba lebih rendah daripada perlakuan waktu HMT 16 jam. Hal ini berkaitan dengan pengaturan kembali molekul amilosa dan amilopektin di dalam granula pati yang semakin rapat dengan lebih lamanya waktu HMT. Oleh karena itu modifikasi pati ganyong yang dihasilkan pada waktu HMT lebih lama menghasilkan densitas kamba tinggi.

Tabel 4.15. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	Densitas kamba (g/mL)
A1B1 (Suhu 80°C, waktu 8 jam)	0,70±0,022 a
A2B2 (Suhu 100°C, waktu 16 jam)	0,75±0,019 b
A2B1 (Suhu 100°C, waktu 8 jam)	0,75±0,013 b
A1B2 (Suhu 80°C, waktu 16 jam)	0,79±0,006 c
A1C1 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 0%)	0,69±0,017 a
A2C2 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 0,5%)	0,72±0,037 a
A1C5 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 2%)	0,73±0,010 b c
A2C3 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 1%)	0,75±0,010 b c
A2C4 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 1,5%)	0,76±0,008 b c
A2C1 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 0%)	0,76±0,011 b c
A1C2 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 0,5%)	0,76±0,021 b c
A2C5 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 2%)	0,76±0,016 b c
A1C4 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 1,5%)	0,77±0,004 c
A1C3 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 1%)	0,78±0,017 c
B1C1 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0%)	0,68±0,013 a
B1C2 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0,5%)	0,73±0,037 b
B1C5 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 2%)	0,73±0,016 b
B1C3 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%)	0,74±0,016 b
B1C4 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5%)	0,75±0,004 b c
B2C2 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0,5%)	0,75±0,021 b c
B2C5 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%)	0,76±0,010 b c
B2C1 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0%)	0,76±0,014 b c
B2C4 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5%)	0,78±0,007 c
B2C3 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1%)	0,79±0,011 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi AB = 0,01, BNJ 5% interaksi AC dan interaksi BC = 0,03

Peningkatan densitas kamba pati ganyong dengan penambahan GX kemungkinan disebabkan oleh berat molekul GX dan ukuran partikel GX. Berat molekulnya GX berkisar antara 2×10^6 sampai 20×10^6 Da (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000) dan ukuran partikelnya 80 mesh. Berat molekul dan ukuran partikel GX yang kecil dapat meningkatkan densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX.

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa interaksi suhu 80°C dan waktu 8 jam berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lainnya. Interaksi antara perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 0% berbeda tidak nyata dengan interaksi perlakuan suhu 100°C dan konsentrasi GX 0,5%, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Sedangkan perlakuan interaksi waktu 8 jam dan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan perlakuan interaksi waktu dan konsentrasi GX yang lain.

Tabel 4.16. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, waktu, konsentrasi GX)	Densitas kamba (g/mL)
A1B1C1 (80°C, 8 jam, 0%)	0,63±0,025 a
A1B1C5 (80°C, 8 jam, 2%)	0,69±0,033 a b
A2B2C2 (100°C, 16 jam, 0,5%)	0,70±0,026 b
A1B1C4 (80°C, 8 jam, 1,5%)	0,73±0,007 b c
A1B1C2 (80°C, 8 jam, 0,5%)	0,73±0,017 b c
A2B1C2 (100°C, 8 jam, 0,5%)	0,73±0,009 b c
A2B1C1 (100°C, 8 jam, 0%)	0,73±0,009 b c
A1B1C3 (80°C, 8 jam, 1%)	0,73±0,009 b c
A1B2C1 (80°C, 16 jam, 0%)	0,74±0,001 b c
A2B2C5 (100°C, 16 jam, 2%)	0,75±0,002 b c
A2B1C3 (100°C, 8 jam, 1%)	0,75±0,002 b c
A2B2C4 (100°C, 16 jam, 1,5%)	0,76±0,041 b c
A2B2C3 (100°C, 16 jam, 1%)	0,76±0,006 b c
A2B1C4 (100°C, 8 jam, 1,5%)	0,77±0,001 c
A1B2C5 (80°C, 16 jam, 2%)	0,77±0,014 c
A2B1C5 (100°C, 8 jam, 2%)	0,77±0,020 c
A2B2C1 (100°C, 16 jam, 0%)	0,79±0,033 c d
A1B2C2 (80°C, 16 jam, 0,5%)	0,79±0,013 c d
A1B2C4 (80°C, 16 jam, 1,5%)	0,80±0,014 c d
A1B2C3 (80°C, 16 jam, 1%)	0,83±0,017 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi ABC = 0,05.

Interaksi suhu 80°C dan waktu 16 jam menghasilkan densitas kamba tertinggi yang berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lainnya. Proses pemanasan pati dan keberadaan air yang terbatas saat HMT berlangsung mengakibatkan air berinteraksi dengan molekul pati. Hal ini mengakibatkan molekul pati terhidrasi sehingga terjadi ikatan antara amilosa dan amilopektin kembali melalui ikatan hidrogen membentuk daerah kristalin yang besar. Proses pemanasan pada suhu 80°C dan waktu 16 jam kemungkinan

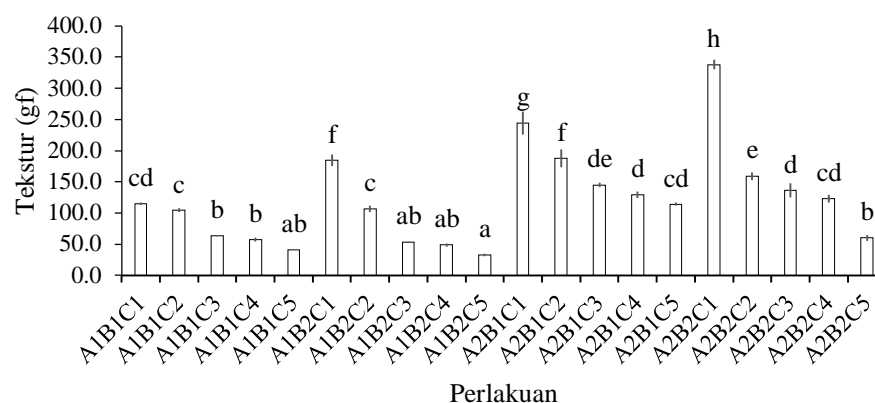
menghasilkan daerah kristalin lebih besar sehingga mempunyai densitas kamba paling tinggi diantara perlakuan yang lain.

Tabel 4.16 menunjukkan interaksi perlakuan suhu 80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 0% berbeda tidak nyata dengan perlakuan suhu 80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 2%, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Densitas kamba tertinggi (0,83 g/mL) terdapat pada perlakuan suhu 80°C, waktu 16 jam, konsentrasi GX 1% (A1B2C3) yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan interaksi A1B2C4, A1B2C2, dan A2B2C1. Densitas kamba yang tinggi menurut Kuswardani *et al.* (2013) disebabkan granula pati ganyong yang lebih stabil dan teratur karena pada pengaturan kembali ikatan amilosa-amilopektin selama HMT menghasilkan daerah kristalin yang rapat.

4.1.6. Tekstur Gel Pati

Tekstur gel pati ganyong diamati dengan mengukur energi yang diperlukan untuk menekan gel pati yang mencerminkan kekerasan gel. Semakin tinggi nilai tekstur mencerminkan tekstur gel yang semakin keras. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX berkisar antara $32,87 \pm 1,97$ gf sampai $338,13 \pm 7,85$ gf, sedangkan tekstur gel pati ganyong alami adalah $56,13 \pm 0,50$ gf. Nilai rerata tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Gambar 4.6.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), interaksi antara perlakuan AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX. Hasil uji BNJ ($\alpha = 5\%$) pengaruh perlakuan A, B, C, interaksi AB, AC, BC, dan ABC terhadap tekstur pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.17, Tabel 4.18, dan Tabel 4.19.



Keterangan:

A1: Suhu 80°C,

A2: Suhu 100°C

B1: Waktu 8 jam,

B2: Waktu 16 jam

C1: Konsentrasi GX 0%

C2: Konsentrasi GX 0,5%

C3: Konsentrasi GX 1%

C4: Konsentrasi GX 1,5%

C5: Konsentrasi GX 2%

Huruf yang sama pada diagram batang berarti berbeda tidak nyata.

Gambar 4.6. Rerata tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT dan GX

Tabel 4.17. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A), waktu HMT (B), dan konsentrasi GX (C) terhadap tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	Tekstur (gf)
A1 (Suhu 80°C)	80,70±2,96 a
A2 (Suhu 100°C)	163,63±8,12 b
B1 (Waktu 8 jam)	120,11±5,42 a
B2 (Waktu 16 jam)	124,22±5,65 b
C5 (Konsentrasi GX 2%)	62,03±2,41 a
C4 (Konsentrasi GX 1,5%)	89,45±4,15 b
C3 (Konsentrasi GX 1%)	99,57±4,22 c
C2 (Konsentrasi GX 0,5%)	139,31±7,30 d
C1 (Konsentrasi GX 0%)	220,47±9,60 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% A dan B = 3,71, BNJ 5% C = 8,29

Hasil uji BNJ (Tabel 4.17) menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT 80°C berbeda nyata dengan perlakuan suhu 100°C, perlakuan waktu 8 jam berbeda nyata dengan perlakuan waktu 16 jam, dan perlakuan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi GX 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Meningkatnya suhu dan waktu HMT menghasilkan tekstur gel pati ganyong lebih keras. Hal ini mencerminkan semakin tinggi suhu HMT dan semakin lama waktu HMT menyebabkan penyusunan kembali molekul amilosa pada granula pati ganyong

semakin rapat sehingga menghasilkan gel yang keras. Adebawale *et al.* (2005), melaporkan bahwa kristalinitas yang meningkat akan membatasi air masuk ke granula. Hal ini ditunjukkan dengan lebih rendahnya IAA dan SP pati ganyong setelah HMT pada suhu 100°C dibandingkan suhu 80°C (Tabel 4.3 dan Tabel 4.1). Peningkatan kekuatan gel juga terjadi pada pati sagu HMT dengan perlakuan kadar air 26%, suhu 110°C, waktu 4 jam (Herawati *et al.*, 2010).

Peningkatan konsentrasi GX secara nyata menurunkan tekstur gel pati ganyong modifikasi HMT-GX. Hal ini disebabkan oleh GX mampu memperangkap air dalam jumlah besar namun tidak membentuk gel sehingga menurunkan tekstur gel pati ganyong termodifikasi HMT-GX.

Tabel 4.18. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu dan waktu HMT (AB), suhu HMT dan konsentrasi GX (AC), waktu HMT dan konsentrasi GX (BC) terhadap tekstur pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	Tekstur (gf)	
A1B1 (Suhu 80°C, waktu 8 jam)	76,18±1,92	a
A1B2 (Suhu 80°C, waktu 16 jam)	85,21±4,01	b
A2B2 (Suhu 100°C, waktu 16 jam)	163,23±7,30	c
A2B1 (Suhu 100°C, waktu 8 jam)	164,04±8,93	c
A1C5 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 2%)	36,97±1,31	a
A1C4 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 1,5%)	53,07±2,60	b
A1C3 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 1%)	58,53±0,86	b
A2C5 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 2%)	87,10±3,52	c
A1C2 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 0,5%)	105,22±4,10	d
A2C4 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 1,5%)	125,83±5,71	e
A2C3 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 1%)	140,60±7,58	f
A1C1 (Suhu 80°C, konsentrasi GX 0%)	149,70±5,94	f
A2C2 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 0,5%)	173,40±10,51	g
A2C1 (Suhu 100°C, konsentrasi GX 0%)	291,23±13,25	h
B2C5 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 2%)	46,43±3,28	a
B1C5 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 2%)	77,63±1,55	b
B2C4 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1,5%)	85,77±4,33	b c
B1C4 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5%)	93,13±3,98	c
B2C3 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 1%)	94,80±6,21	c
B1C3 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 1%)	104,33±2,24	c
B2C2 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0,5%)	132,77±5,78	d
B1C2 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0,5%)	145,85±8,83	d
B1C1 (Waktu 8 jam, konsentrasi GX 0%)	179,60±10,52	e
B2C1 (Waktu 16 jam, konsentrasi GX 0%)	261,33±8,67	f

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi AB = 5,64, BNJ 5% interaksi AC dan BC = 13,77

Tabel 4.18 menunjukkan bahwa interaksi perlakuan suhu 100°C dan waktu 16 jam berbeda tidak nyata dengan interaksi perlakuan suhu 100°C dan waktu 8 jam, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu dan waktu HMT yang lain. Interaksi perlakuan suhu 80°C dan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Interaksi perlakuan waktu 8 jam dan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan perlakuan interaksi waktu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Tekstur pati ganyong termodifikasi HMT-GX yang semakin rendah dengan meningkatnya konsentrasi GX disebabkan oleh gugus hidroksil manosa pada rantai samping struktur GX berinteraksi dengan gugus hidroksil glukosa pati ganyong sehingga GX mampu menghalangi pengaturan kembali (*re-arrangement*) amilosa selama proses HMT berlangsung.

Tabel 4.19. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) interaksi suhu HMT, waktu HMT dan konsentrasi GX (ABC) terhadap tekstur pati ganyong termodifikasi HMT-GX

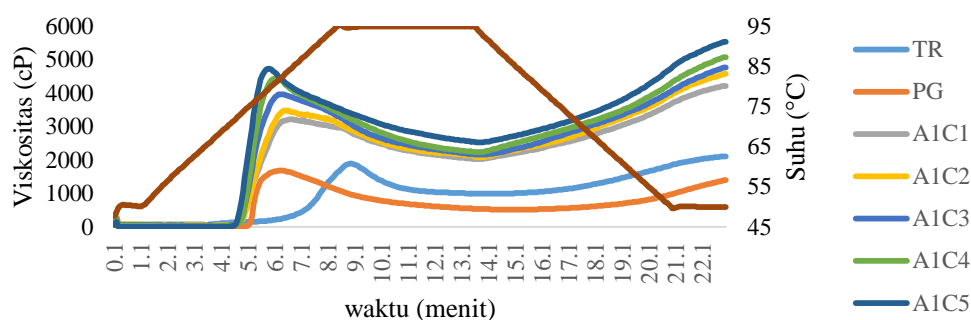
Perlakuan (suhu, waktu, kons. GX)	Tekstur (gf)
A1B2C5 (80°C, 16 jam, 2%)	32,87±1,97 a
A1B1C5 (80°C, 8 jam, 2%)	41,07±0,64 a b
A1B2C4 (80°C, 16 jam, 1,5%)	48,93±2,50 a b
A1B2C3 (80°C, 16 jam, 1%)	53,40±0,92 a b
A1B1C4 (80°C, 8 jam, 1,5%)	57,20±2,69 b
A2B2C5 (100°C, 16 jam, 2%)	60,00±4,58 b
A1B1C3 (80°C, 8 jam, 1%)	63,67±0,81 b
A1B1C2 (80°C, 8 jam, 0,5%)	104,10±3,05 c
A1B2C2 (80°C, 16 jam, 0,5%)	106,33±5,41 c
A2B1C5 (100°C, 8 jam, 2%)	114,20±2,46 c d
A1B1C1 (80°C, 8 jam, 0%)	114,87±2,39 c d
A2B2C4 (100°C, 16 jam, 1,5%)	122,60±6,16 c d
A2B1C4 (100°C, 8 jam, 1,5%)	129,07±5,26 d
A2B2C3 (100°C, 16 jam, 1%)	136,20±11,49 d
A2B1C3 (100°C, 8 jam, 1%)	145,00±3,67 d e
A2B2C2 (100°C, 16 jam, 0,5%)	159,20±6,42 e
A1B2C1 (80°C, 16 jam, 0%)	184,53±9,50 f
A2B1C2 (100°C, 8 jam, 0,5%)	187,60±14,60 f
A2B1C1 (100°C, 8 jam, 0%)	244,33±18,66 g
A2B2C1 (100°C, 16 jam, 0%)	338,13±7,85 h

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% interaksi ABC = 22,01

Tabel 4.19 menunjukkan bahwa perlakuan suhu 100°C, waktu 16 jam, konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan interaksi perlakuan yang lain. Tingginya tekstur gel pati ganyong pada perlakuan suhu HMT 100°C, waktu HMT 16 jam dan konsentrasi GX 0% kemungkinan disebabkan oleh lebih kompaknya pati ganyong.

4.2. Profil Pasta

Modifikasi pati ganyong dengan *Heat-Moisture Treatment* dan penambahan gum xanthan (HMT-GX) menghasilkan pati ganyong dengan profil pasta yang beragam (Gambar 4.7, 4.9 dan Tabel 4.20). Profil pasta menggambarkan perubahan sifat pasta pati selama proses pemanasan dan pendinginan. Profil pasta pati terdiri dari suhu dan waktu gelatinisasi, viskositas puncak, viskositas akhir, nilai *break down*, dan nilai *setback* pati.

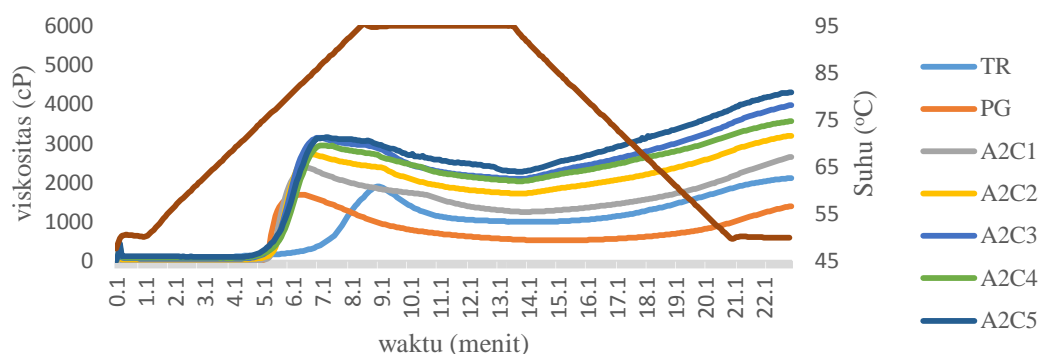


Keterangan: TR: tepung terigu, PG: pati ganyong alami, A1: suhu HMT 80°C, C1: GX 0%, C2: GX 0,5%, C3: GX 1%, C4: GX 1,5%, C5: GX 2%.

Gambar 4.7. Profil pasta pati ganyong pada suhu HMT 80°C.

4.2.1. Suhu dan Waktu Gelatinisasi

Suhu dan waktu gelatinisasi merupakan suhu dan waktu granula pati mulai mengalami peningkatan viskositas karena proses gelatinisasi pati. Gelatinisasi pati merupakan serangkaian perubahan struktural granula pati karena adanya air dan pemanasan. Mekanisme gelatinisasi terjadi dalam tiga tahap yaitu: (a) penyerapan air oleh granula pati, (b) pengembangan granula pati secara cepat sampai kehilangan sifat *birefringence* (sifat merefleksikan cahaya terpolarisasi), (c) granula pati pecah jika cukup air dan suhu terus naik (BeMiller, 2011).



Keterangan: TR: tepung terigu, PG: pati ganyong alami, A2: suhu HMT 100°C, C1: GX 0%, C2: GX 0,5%, C3: GX 1%, C4: GX 1,5%, C5: GX 2%.

Gambar 4.8. Profil pasta pati ganyong pada suhu HMT 100°C

Pati ganyong termodifikasi HMT-GX memiliki suhu gelatinisasi antara $(71,40 \pm 0,22)$ hingga $(75,27 \pm 0,08)^\circ\text{C}$ dan waktu gelatinisasi antara $(5,92 \pm 0,07)$ sampai $(7,89 \pm 0,67)$ menit. Sedangkan suhu gelatinisasi pati ganyong alami dan tepung terigu berturut-turut $(74,67 \pm 0,21)^\circ\text{C}$ dan $(84,47 \pm 0,40)^\circ\text{C}$ (Tabel 4.20).

Tabel 4.20. Profil pasta pati ganyong termodifikasi HMT-GX, pati ganyong alami, dan tepung terigu

Perla kuan	Suhu gelatinisasi ($^\circ\text{C}$),	Waktu gelatinisasi (mnt)	V puncak (cP)	V akhir (cP)	Breakdown (cP)	Setback (cP)
A1C1	$71,78 \pm 0,63$	$6,98 \pm 0,24$	$3378 \pm 137,50$	$4411 \pm 185,53$	$1283 \pm 76,00$	$2316 \pm 127,01$
A1C2	$72,60 \pm 0,17$	$6,60 \pm 0,00$	$3605 \pm 115,01$	$4589 \pm 12,00$	$1473 \pm 75,51$	$2454 \pm 30,51$
A1C3	$72,18 \pm 0,18$	$6,43 \pm 0,09$	$4031 \pm 55,51$	$4776 \pm 7,55$	$1803 \pm 7,02d$	$2547 \pm 55,01$
A1C4	$72,25 \pm 0,23$	$6,16 \pm 0,04$	$4556 \pm 107,01$	$5141 \pm 64,00$	$2235 \pm 27,51$	$2818 \pm 15,52$
A1C5	$71,40 \pm 0,22$	$5,92 \pm 0,07$	$4752 \pm 12,53$	$5592 \pm 46,52$	$2222 \pm 18,52$	$3062 \pm 52,51$
A2C1	$75,27 \pm 0,08$	$6,47 \pm 0,07$	$2382 \pm 8,19$	$2587 \pm 63,01$	$1104 \pm 19,52$	$1308 \pm 90,50$
A2C2	$74,82 \pm 0,10$	$6,82 \pm 0,10$	$2774 \pm 51,81$	$3197 \pm 63,58$	$1154 \pm 126,65$	$1410 \pm 80,01$
A2C3	$74,47 \pm 0,80$	$7,06 \pm 0,05$	$2946 \pm 28,68$	$3368 \pm 192,02$	$1087 \pm 82,60$	$1470 \pm 97,39$
A2C4	$74,42 \pm 0,78$	$7,10 \pm 0,03$	$3011 \pm 136,51$	$3626 \pm 334,64$	$995 \pm 72,02$	$1689 \pm 175,39$
A2C5	$73,05 \pm 0,18$	$7,89 \pm 0,67$	$3096 \pm 66,49$	$4222 \pm 75,50$	$603 \pm 272,00$	$1875 \pm 140,01$
PG	$74,67 \pm 0,21$	$6,34 \pm 0,05$	$1731 \pm 43,02$	$1421 \pm 27,02$	$1185 \pm 22,01$	$873 \pm 6,66$
TR	$84,47 \pm 0,40$	$9,02 \pm 0,10$	$1912 \pm 16,56$	$2093 \pm 22,50$	$922 \pm 24,01$	$1104 \pm 15,10$

Keterangan: A1: suhu HMT 80°C, A2: suhu HMT 100°C, C1: konsentrasi GX 0%, C2: konsentrasi GX 0,5 %, C3: konsentrasi GX 1%, C4: konsentrasi GX 1.5 %, C5: konsentrasi GX 2%, PG= pati ganyong alami, TR= tepung terigu.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), konsentrasi GX (C), dan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) berpengaruh nyata terhadap suhu gelatinisasi. Perlakuan suhu HMT (A) dan interaksi suhu HMT-konsentrasi GX (AC) berpengaruh nyata terhadap waktu gelatinisasi, tetapi konsentrasi GX berpengaruh tidak nyata. Hasil uji BNP pengaruh perlakuan A, C, dan interaksi AC terhadap suhu dan waktu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX disajikan pada Tabel 4.21 dan 4.22.

Data pada Tabel 4.21 menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT 80°C berbeda nyata dengan suhu HMT 100°C terhadap suhu dan waktu gelatinisasi pati ganyong. Sedangkan perlakuan konsentrasi gum xanthan 2% (C5) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi gum xanthan lainnya.

Tabel 4.21. Hasil uji BNP pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap suhu dan waktu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	Suhu Gelatinisasi (° C)	Waktu Gelatinisasi (menit)
A1 (Suhu 80° C)	72,04±0,29 a	6,42±0,09 a
A2 (Suhu 100° C)	74,40±0,39 b	7,07±0,18 b
C5 (Konsentrasi GX 2%)	72,23±0,20 a	
C3 (Konsentrasi GX 1%)	73,33±0,49 b	
C4 (Konsentrasi GX 1,5%)	73,33±0,51 b	
C1 (Konsentrasi GX 0%)	73,53±0,35 c	
C2 (Konsentrasi GX 0,5%)	73,71±0,14 c	

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNP 5%. Nilai BNP 5% suhu HMT = 0,24, konsentrasi GX = 0,56 pada parameter suhu gelatinisasi, suhu HMT = 0,18 pada parameter waktu gelatinisasi.

HMT pada suhu 100°C menghasilkan suhu gelatinisasi lebih tinggi dan waktu gelatinisasi lebih lama dibandingkan HMT pada suhu 80°C. Hal ini terjadi karena pemanasan pati ganyong selama HMT menyebabkan terputusnya sebagian ikatan hidrogen inter- dan intra- molekul amilosa dan amilopektin dalam granula pati yang mengakibatkan berubahnya keteraturan struktur granula pati. Sesuai dengan pernyataan Ratnayake dan Jackson (2006) bahwa energi yang diserap granula pati selama pemanasan dapat membuka lipatan heliks ganda amilopektin dan memfasilitasi pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul. Energi panas yang lebih tinggi pada perlakuan HMT suhu 100°C dibandingkan suhu HMT 80°C menyebabkan meningkatnya jumlah daerah kristalin yang terbentuk sehingga granula pati lebih kompak. Granula pati yang lebih kompak

memerlukan suhu gelatinisasi lebih tinggi dan waktu gelatinisasi lebih lama. Hal ini sesuai dengan pernyataan Syamsir *et al.* (2012) bahwa suhu HMT yang lebih tinggi dapat meningkatkan daerah kristalin dengan semakin kuatnya ikatan intra molekul amilosa dan amilopektin pada daerah tersebut. Peningkatan daerah kristalin menyebabkan pati membutuhkan panas yang lebih tinggi untuk terjadinya disintegrasi struktur dan pembentukan gel pada proses gelatinisasi pati. Interaksi amilosa (*amorphous*) dengan amilopektin (kristalin) selama HMT mereduksi mobilitas rantai amilopektin sehingga suhu gelatinisasi meningkat (Watcharatewinkul *et al.*, 2008). Selain itu, suhu gelatinisasi yang tinggi pada pati termodifikasi HMT dapat disebabkan oleh interaksi antara amilosa dengan amilosa dan amilosa dengan lemak yang mengurangi mobilitas daerah *amorphous*. Modifikasi HMT menyebabkan peningkatan suhu gelatinisasi pati dilaporkan juga oleh Onyango *et al.* (2013) dan Watcharatewinkul *et al.* (2009).

Tabel 4.22. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) terhadap suhu dan waktu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, kons.GX)	Suhu Gelatinisasi (° C)	Waktu Gelatinisasi (menit)
BNJ (α :0,05%)	0,93	0,68
A1C5 (80° C, 2%)	71,40±0,22 a	5,92±0,07 a
A1C1 (80° C, 0%)	71,78±0,63 a b	6,98±0,24 b
A1C3 (80° C, 1%)	72,18±0,18 a b	6,43±0,09 a b
A1C4 (80° C, 1,5%)	72,25±0,23 a b	6,16±0,04 a b
A1C2 (80° C, 0,5%)	72,60±0,17 b	6,60±0,00 a b
A2C5 (100° C, 2%)	73,05±0,18 b	7,89±0,67 c
A2C4 (100° C, 1,5%)	74,42±0,78 c	7,10±0,03 b
A2C3 (100° C, 1%)	74,47±0,80 c	7,06±0,05 b
A2C2 (100° C, 0,5%)	74,82±0,10 c	6,82±0,10 b
A2C1 (100° C, 0%)	75,27±0,08 c	6,47±0,07 a b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%.

Perlakuan konsentrasi GX 2% menghasilkan suhu gelatinisasi lebih rendah dibandingkan konsentrasi GX 1,5; 1; 0,5; dan 0%. Hal ini disebabkan oleh interaksi antara pati ganyong dan gum xanthan dapat membantu penetrasi air dan panas ke granula pati sehingga suhu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX semakin rendah pada penambahan konsentrasi gum xanthan yang lebih tinggi. Menurut Weber *et al.* (2009), GX dapat menurunkan mobilitas fraksi air dalam

sistem dan mengurangi hidrasi bagian *amorphous* granula pati. Data pada Tabel 4.22 menunjukkan bahwa interaksi perlakuan suhu HMT 80°C dan konsentrasi GX 2% (A1C5) berbeda tidak nyata dengan perlakuan A1C1, A1C3, A1C4 tetapi berbeda nyata dengan interaksi perlakuan suhu HMT dan konsentrasi GX yang lainnya terhadap suhu gelatinisasi pati. Interaksi perlakuan suhu HMT 100°C dan konsentrasi GX 2% (A2C5) berbeda nyata dengan interaksi perlakuan suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain terhadap waktu gelatinisasi pati.

Pemanasan pati ganyong selama HMT menyebabkan terputusnya sebagian ikatan hidrogen inter dan intra molekul amilosa dan amilopektin dalam granula pati yang mengakibatkan berubahnya keteraturan struktur granula pati. Adanya GX yang merupakan hidrokoloid larut dalam air dingin dan air panas dapat membantu penetrasi air dan panas ke granula pati sehingga mempengaruhi suhu gelatinisasi pati ganyong. Pada suhu HMT yang sama, peningkatan konsentrasi GX dapat menurunkan suhu gelatinisasi pati ganyong (Tabel 4.22). Gum xanthan (GX) merupakan heteropolisakarida tersusun oleh 2 unit glukosa, 2 unit manosa, 1 unit asam glukoronik, piruvat dan asetil (Gomashe *et al.*, 2013). Semakin tinggi konsentrasi GX semakin banyak gugus hidroksil (OH) yang mengikat air selama HMT sehingga semakin banyak molekul air yang berperan sebagai media penghantar panas selama proses pemanasan pati. Hal inilah yang menyebabkan suhu gelatinisasi pati ganyong termodifikasi HMT-GX semakin rendah dengan semakin tingginya konsentrasi GX.

4.2.2. Viskositas Puncak dan Viskositas Akhir

Viskositas puncak merupakan titik maksimum viskositas selama proses pemanasan pasta pati. Viskositas akhir menunjukkan kemampuan pati membentuk pasta atau gel setelah proses pendinginan pati. Pati ganyong termodifikasi HMT dan GX memiliki viskositas puncak antara 2382±8,19 sampai 4752±12,53 cP dan viskositas akhir 2587±63,01 sampai 5592±46,52 cP (Tabel 4.20).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), konsentrasi GX (C), dan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) berpengaruh nyata terhadap viskositas puncak dan viskositas akhir. Hasil uji BNJ ($\alpha=5\%$) pengaruh perlakuan A, C, dan interaksi AC terhadap viskositas puncak dan

viskositas akhir pati ganyong termodifikasi HMT-GX dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24.

Tabel 4.23. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap viskositas puncak dan viskositas akhir pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	Viskositas Puncak (cP)	Viskositas Akhir (cP)
A2 (Suhu 100°C)	2842±49,03 a	3400±145,75 a
A1 (Suhu 80°C)	4064±50,65 b	4902±63,12 b
C1 (Konsentrasi GX 0%)	2880±72,84 a	3499±124,27 a
C2 (Konsentrasi GX 0,5%)	3190±83,41 b	3893±37,79 b
C3 (Konsentrasi GX 1%)	3489±42,09 c	4072±99,79 b
C4 (Konsentrasi GX 1,5%)	3784±121,76 d	4383±199,32 c
C5 (Konsentrasi GX 2%)	3924±39,51 d	4907±61,01 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. Nilai BNJ 5% suhu HMT = 65,07, konsentrasi GX = 148,26 pada vis. puncak dan suhu HMT = 111,10, konsentrasi GX = 253,14 pada vis. akhir.

Data pada Tabel 4.23 menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT 100°C berbeda nyata dengan suhu HMT 80°C. Perlakuan konsentrasi GX 0% berbeda nyata dengan semua perlakuan yang lainnya. Perlakuan konsentrasi GX 1,5% dan 2% berbeda tidak nyata terhadap viskositas puncak, sedangkan konsentrasi GX 0,5% dan 1% berbeda tidak nyata terhadap viskositas akhir.

Viskositas puncak pada perlakuan suhu HMT 80°C lebih tinggi dibandingkan suhu HMT 100°C. Energi panas yang lebih tinggi pada perlakuan suhu HMT 100°C dibandingkan suhu HMT 80°C menyebabkan perubahan pada daerah kristalin pati sehingga granula pati lebih rigid. Seperti yang dilaporkan oleh Syamsir *et al.* (2012) bahwa penurunan viskositas puncak pada suhu HMT yang lebih tinggi diduga karena meningkatnya keteraturan matriks kristalin dan pembentukan kompleks amilosa-lemak yang menurunkan kapasitas pembekakan granula. Pati ganyong mengandung lemak 0,75% (Richana dan Sunarti, 2004).

Viskositas puncak pati ganyong semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi GX. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara pati ganyong dan gum xanthan yang bersifat sinergistik. Menurut Weber *et al.* (2009), interaksi antara gum xanthan dan pati jagung merupakan ikatan hidrogen. Interaksi pati beras dan gum xanthan pada penelitian Li *et al.* (2013) dan Purnomo *et al.* (2015) juga meningkatkan viskositas yang disebabkan oleh gum xanthan melapisi granula pati. Viskositas puncak komposit tapioka dan GX dalam penelitian Chantaro dan

Pongsawatmanit (2010) lebih tinggi dibandingkan viskositas puncak tapioka disebabkan oleh adanya kontribusi GX pada fase kontinyu campuran bahan.

Tabel 4.24 menunjukkan bahwa perlakuan interaksi suhu 80°C dan konsentrasi GX 2% (A1C5) berbeda tidak nyata dengan interaksi perlakuan A1C4, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain terhadap viskositas puncak. Sedangkan, interaksi suhu 80°C dan konsentrasi GX 2% (A1C5) berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain terhadap viskositas akhir.

Interaksi pati ganyong dan gum xanthan selama proses HMT mengakibatkan viskositas puncak dan viskositas akhir pati ganyong termodifikasi HMT-GX yang semakin besar dengan semakin tingginya konsentrasi GX. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sinergistik antara pati ganyong dan gum xanthan. Pada penelitian ini dihasilkan viskositas akhir yang lebih tinggi dibandingkan viskositas puncak. Hal ini mencerminkan bahwa modifikasi HMT-GX dapat menghasilkan pati ganyong yang mampu membentuk gel yang mantap (*firm*).

Tabel 4.24. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) terhadap viskositas puncak dan viskositas akhir pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, kons.GX)	Viskositas Puncak (cP)	Viskositas Akhir (cP)
BNJ (α : 0,05%)	248,38	424,07
A2C1 (100°C, 0%)	2382±8,19 a	2587±63,01 a
A2C2 (100°C, 0,5%)	2774±51,81 b	3197±63,58 b
A2C3 (100°C, 1%)	2946±28,68 bc	3368±192,02 bc
A2C4 (100°C, 1,5%)	3011±136,51bc	3626±334,64 c
A2C5 (100°C, 2%)	3096±66,49 c	3626±75,50 d
A1C1 (80°C,0%)	3378±137,50 d	4411±185,53 d e
A1C2 (80°C, 0,5%)	3605±115,01 d	4589±12,00 d e
A1C3 (80°C, 1%)	4031±55,51 e	4776±7,55 e
A1C4 (80°C, 1,5%)	4556±107,01 f	5141±64,00 e
A1C5 (80°C, 2%)	4752±12,53 f	5592±46,52 f

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%.

4.2.3. Breakdown

Nilai *breakdown* mencerminkan kestabilan gel pati selama pemanasan yang dihitung dari selisih viskositas puncak dengan viskositas pada awal pendinginan pati. Pati ganyong termodifikasi HMT dan GX memiliki nilai *breakdown* antara

603±272 cP sampai 2235±27,51 cP, sedangkan nilai *breakdown* pati ganyong alami 1185±22,01 cP (Tabel 4.20).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A), konsentrasi GX (C), dan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) berpengaruh nyata terhadap nilai *breakdown* pati ganyong termodifikasi HMT-GX. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) pengaruh perlakuan A, C, dan interaksi AC terhadap nilai *breakdown* pati ganyong termodifikasi HMT-GX dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26. Data pada Tabel 4.25 menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT 100°C berbeda nyata dengan suhu HMT 80°C. Perlakuan konsentrasi GX 2% berbeda tidak nyata dengan konsentrasi GX 1,5 % tetapi berbeda nyata dengan semua perlakuan yang lainnya.

Tabel 4.25. Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap *breakdown* pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	<i>Breakdown</i> (cP)
A2 (Suhu 100°C)	989±114,56 a
A1 (Suhu 80°C)	1803±40,91 b
C1 (Konsentrasi GX 0%)	1194±47,76 a
C2 (Konsentrasi GX 0,5%)	1314±101,08 a
C3 (Konsentrasi GX 1%)	1413±44,81 b
C4 (Konsentrasi GX 1,5%)	1445±49,77 b c
C5 (Konsentrasi GX 2%)	1615±145,26 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. Nilai BNJ 5% suhu HMT = 85,63, konsentrasi GX = 195,10

Nilai *breakdown* pada perlakuan suhu HMT 100°C lebih rendah dari perlakuan suhu 80°C. Hal ini menunjukkan bahwa pati ganyong termodifikasi HMT suhu 100°C lebih stabil terhadap pemanasan jika dibandingkan pati ganyong termodifikasi HMT suhu 80°C dan pati ganyong alaminya. Energi panas yang lebih tinggi pada perlakuan HMT suhu 100°C dibandingkan suhu HMT 80°C dapat meningkatnya keteraturan daerah kristalin sehingga granula pati lebih kompak. Granula pati yang lebih kompak mempunyai viskositas yang lebih stabil selama pemanasan.

Breakdown pati ganyong semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi GX. *Breakdown* yang tinggi diperlukan pada proses pembuatan roti bebas gluten terutama selama pemanggangan. Turunnya viskositas pati selama

pemanggangan roti dapat mempermudah terbentuknya matrik berongga yang lebih besar.

Tabel 4.26 menunjukkan bahwa perlakuan interaksi suhu 100°C dan konsentrasi GX 2% (A2C5) berbeda nyata dengan perlakuan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX yang lain. Vamadevan dan Bertoft (2014) menjelaskan bahwa kemampuan mengembang pati berhubungan dengan integritas struktural pati yang dipengaruhi oleh interaksi amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, dan amilopektin-amilopektin di daerah kristalin dan *amorphous*.

Tabel 4.26. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX (AC) terhadap *breakdown* pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan (suhu, kons,GX)	<i>Breakdown</i> (cP)
BNJ (α :0,05%)	326,85
A2C5 (100°C, 2%)	603±272,001 a
A2C4 (100°C, 1,5%)	995±72,021 b
A2C3 (100°C, 1%)	1087±82,597 b
A2C1 (100°C, 0%)	1104±19,519 b
A2C2 (100°C, 0,5%)	1154±126,645 b c
A1C1 (80°C,0%)	1283±76,002 b c
A1C2 (80°C, 0,5%)	1473±75,505 c
A1C3 (80°C, 1%)	1803±7,024 d
A1C5 (80°C, 2%)	2222±18,520 e
A1C4 (80°C, 1,5%)	2235±27,514 f

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%.

4.2.4. *Setback*

Nilai *setback* mencerminkan kemampuan retrogradasi pati pada proses pendinginan yang dihitung dari selisih viskositas akhir dengan viskositas pada akhir pemanasan. Pati ganyong termodifikasi HMT dan GX memiliki nilai *setback* antara 1308 ±90,50 cP sampai 3062±52,51 (Tabel 4.20).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) berpengaruh nyata terhadap nilai *setback* pati ganyong termodifikasi HMT-GX, sedangkan interaksi AC berpengaruh tidak nyata. Hasil uji BNJ (α = 5%) pengaruh perlakuan A dan C terhadap nilai *setback* pati ganyong termodifikasi HMT-GX dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Data pada Tabel 4.27 menunjukkan bahwa *setback* pada perlakuan suhu HMT 100°C berbeda nyata dengan suhu 80°C. Perlakuan konsentrasi GX 2%

berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pati ganyong termodifikasi HMT suhu 100°C menghasilkan *setback* lebih rendah mencerminkan modifikasi tersebut menghasilkan pati yang lebih lambat teretrogradasi jika dibandingkan pati ganyong termodifikasi HMT suhu 80°C. Peningkatan *setback* terjadi karena pada saat gel pati didinginkan, semakin kecil energi yang tersedia sehingga viskositas gel pati meningkat kembali.

Setback pati ganyong semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi GX. Gum xanthan larut dalam air dingin dan panas, sehingga meningkatkan kemampuan pati ganyong termodifikasi HMT membentuk gel. Semakin tinggi konsentrasi GX semakin banyak gugus hidroksil (OH) yang berikatan dengan air sehingga dapat menghasilkan gel yang semakin kuat. Hasil yang sama dilaporkan oleh Mandala dan Bayas (2004) bahwa gum xanthan meningkatkan retrogradasi amilosa pati gandum.

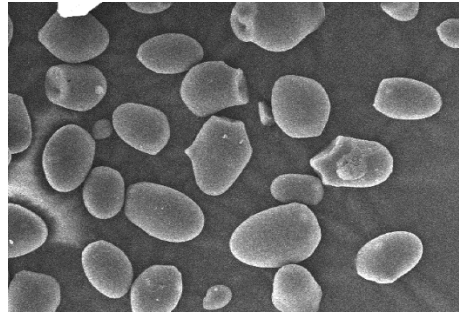
Tabel 4.27 Hasil uji BNJ pengaruh suhu HMT (A) dan konsentrasi GX (C) terhadap nilai *setback* pati ganyong termodifikasi HMT-GX

Perlakuan	<i>Setback</i> (cP)	
A2 (Suhu 100°C)	1551±116,66	a
A1 (Suhu 80°C)	2640±56,11	b
C1 (Konsentrasi GX 0%)	1812±108,75	a
C2 (Konsentrasi GX 0,5%)	1932±55,26	a b
C3 (Konsentrasi GX 1%)	2009±76,20	b
C4 (Konsentrasi GX 1,5%)	2253±95,46	c
C5 (Konsentrasi GX 2%)	2469±96,26	d

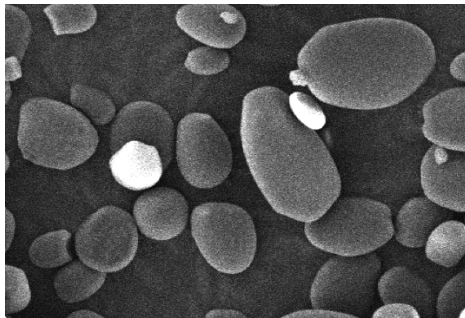
Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. Nilai BNJ 5% suhu HMT = 69,65, BNJ 5% konsentrasi GX = 158,70

4.3. Struktur Granula Pati Ganyong

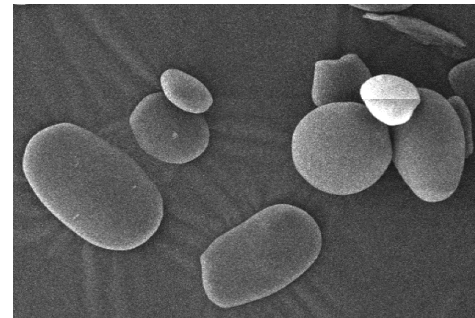
Struktur granula pati ganyong yang dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) perbesaran 500x disajikan pada Gambar 4.9.



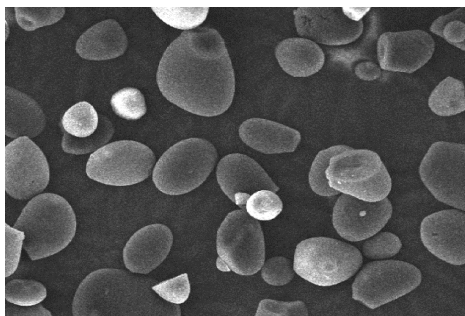
Pati ganyong alami



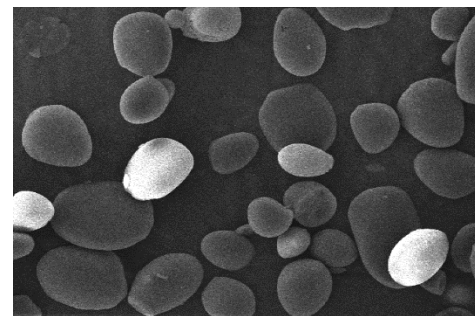
HMT 80°C, 8 jam, GX 0%



HMT 80°C, 8 jam, GX 2%



HMT 100°C, 8 jam, GX 0%



HMT 100°C, 8 jam, GX 2%

Gambar 4.9: SEM pati ganyong alami, pati ganyong modifikasi HMT 80°C, 8 jam, GX 0%, HMT 80°C, 8 jam, GX 2%, HMT 100°C, 8 jam, GX 0%, HMT 100°C, 8 jam, GX 2% perbesaran 500x.

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa granula pati ganyong berbentuk oval dan permukaan halus dengan ukuran 23,93 - 77,67 μm . Bentuk granula pati ganyong tidak mengalami perubahan dengan modifikasi HMT pada suhu 80°C dan 100°C selama 8 jam, namun dengan penambahan GX 2% mengalami sedikit peningkatan ukuran granula. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh interaksi GX dan amilosa yang keluar dari granula dan melapisi sebagian granula pati. Seperti dilaporkan oleh Piyachomkwan *et al.* (2002) bahwa granula pati ganyong berbentuk oval dengan ukuran berkisar antara 5 hingga 100 μm . Syamsir *et al.* (2012) melaporkan

bahwa HMT tidak mengubah morfologi eksternal granula pati. Dilaporkan oleh Watcharatewinkul *et al.* (2009) pada HMT pati ganyong suhu 100°C, 16 jam, kadar air 15% sd 25%, Jiranuutakul *et al.* (2011) pada HMT pati jagung dan kentang suhu 100°C, 16 jam, kadar air 25%, dan Lase *et al.* (2012) HMT pati ubi jalar pada suhu 110°C, waktu 3 jam, kadar air pati 25% bahwa HMT tidak menyebabkan perubahan morfologi granula pati. Hal yang berbeda dilaporkan oleh Putri *et al.* (2014) bahwa permukaan granula tepung ubi rambat HMT (suhu 77°C, 6 jam, kadar air 30%) lebih kasar dibandingkan pati ubi rambat alami.

4.4. Pemilihan Perlakuan Terbaik sebagai Bahan Baku Roti

Pemilihan perlakuan terbaik untuk bahan baku roti dilakukan dengan uji efektivitas Garmo (1984) yang didasarkan pada parameter nilai SP, IAA, DP tertinggi dan IKA, tekstur, densitas kamba terendah. Hasil uji efektivitas pada 20 interaksi perlakuan dihasilkan perlakuan A1B1C4 (suhu 80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5%) mempunyai nilai efektivitas tertinggi yaitu 0,80 sehingga dipilih sebagai perlakuan terbaik. Terputusnya sebagian ikatan inter dan antar molekul amilosa dan amilopektin dalam granula pati selama pemanasan mengakibatkan ikatan-ikatan tersebut lebih lentur dan lebih mengembang dibandingkan dengan pati ganyong alami. Gum xanthan yang berinteraksi dengan pati ganyong selama HMT semakin mendukung sifat fisik pati ganyong modifikasi tersebut untuk bahan baku produk roti.

Tabel 4.28. Perbandingan Sifat Fisik Pati Ganyong Alami dan Pati Ganyong Termodifikasi HMT-GX

Sifat Fisik	Pati ganyong alami	Pati ganyong termodifikasi HMT-GX
SP (g/g)	14,27±0,24	17,41±0,49
IKA (%)	7,71±0,21	7,81±0,98
IAA (%)	77,41±0,94	123,67±0,21
DP (mL/g)	1,16±0,16	1,19±0,19
Densitas kamba (g/mL)	0,77±0,03	0,73±0,01
Tekstur (gf)	56,13±0,50	57,20±2,69

Pati ganyong termodifikasi HMT-GX yang terpilih dalam penelitian ini mempunyai sifat fisik yang lebih baik dibandingkan dengan pati ganyong alami yang ditunjukkan dengan SP, IAA, DP yang lebih besar (Tabel 4.28).

4.5. Aplikasi Pati Ganyong Termodifikasi Pada Produk Roti

Pati ganyong termodifikasi yang dipilih untuk membuat roti adalah pati ganyong perlakuan terbaik berdasarkan sifat fisik percobaan sebelumnya (suhu HMT 80°C, waktu HMT 8 jam, konsentrasi GX 1,5%), dibandingkan dengan pati ganyong termodifikasi HMT (suhu HMT 80°C, waktu HMT 8 jam), pati ganyong yang ditambah gum xanthan 1,5%, pati ganyong, pati jagung, dan tepung terigu.

4.5.1. Volume Spesifik Roti

Volume spesifik (VS) mencerminkan derajat pengembangan roti. Pada pembuatan roti diharapkan mempunyai nilai VS yang besar. Nilai VS roti berkisar antara 2,36 sampai 3,11 cm³/g. Nilai VS tertinggi (3,11 cm³/g) dihasilkan pada roti yang dibuat dari pati jagung, sedangkan VS terendah (2,36 cm³/g) terdapat pada roti yang dibuat dari pati ganyong. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan jenis pati berpengaruh nyata terhadap VS roti. Hasil uji BNJ ($\alpha = 5\%$) pengaruh perlakuan jenis pati terhadap volume spesifik dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap volume spesifik roti

Jenis pati/tepung	Volume spesifik (cm ³ /g)
F4 (Pati Ganyong)	2,36±0,008 a
F6 (Tepung Terigu)	2,63±0,015 b
F3 (Pati Ganyong-GX)	2,79±0,018 c
F1 (Pati ganyong HMT-GX)	2,85±0,017 c
F2 (Pati ganyong HMT)	3,07±0,132 d
F5 (Pati Jagung)	3,11±0,015 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% = 0,15

Data pada Tabel 4.29 menunjukkan bahwa perlakuan F1 (pati ganyong HMT-GX) berbeda tidak nyata dengan F3 (pati ganyong-GX) tetapi berbeda nyata dengan perlakuan jenis pati lainnya terhadap VP roti. Pati ganyong termodifikasi HMT, HMT-GX dan pati ganyong yang ditambah GX menghasilkan roti dengan VS yang lebih tinggi dibandingkan pati ganyong alami. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ratnayake dan Jackson (2006) bahwa energi yang diserap granula pati selama pemanasan dapat membuka lipatan heliks ganda amilopektin dan memfasilitasi pengaturan atau pembentukan ikatan-ikatan baru antar molekul sehingga membentuk struktur roti yang berongga. VS roti yang besar disebabkan

oleh GX dapat menurunkan mobilitas fraksi air dalam sistem dan mengurangi hidrasi bagian *amorphous* granula pati (Weber *et al.*, 2009) yang mempengaruhi pengaturan kembali amilosa dan amilopektin penyusun granula pati sehingga *swelling power*nya meningkat. Peningkatan *swelling power* pati ganyong menyebabkan tingginya VS roti yang dihasilkan.

4.5.2. Warna Roti

Intensitas warna roti diukur menggunakan *Colour Checker*. Nilai L^* mengukur *lightness*, dan 2 koordinat a^* dan b^* . Nilai L^* roti berkisar antara 71,73 sampai 77,87, dengan kisaran nilai a^* dan b^* berturut-turut + 7,73 sampai +12,50 dan +24,57 sampai +35,33. Nilai a^* dan b^* roti positif yang menunjukkan kecenderungan warna merah dan kuning.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan jenis pati berpengaruh nyata terhadap nilai warna roti (L^* , a^* dan b^*). Hasil uji BNJ ($\alpha=5\%$) pengaruh perlakuan jenis pati terhadap warna dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap warna (L^* , a^* , b^*) roti

Jenis pati/tepung	L^*	a^*	b^*
F6 (Tepung terigu)	71,73±1,00a	+10,17±1,06b	+35,33±0,71c
F3 (Pati ganyong-GX)	73,03±0,60a	+12,50±0,50b	+31,00±0,79b
F1 (Pati ganyong HMT-GX)	75,13±0,25b	+9,37±1,14ab	+29,40±2,15b
F4 (Pati ganyong)	76,33±0,29b	+9,00±0,26ab	+27,33±1,04ab
F5 (Pati jagung)	76,50±0,10b	+7,73±0,50a	+31,57±0,67b
F2 (Pati ganyong HMT)	77,87±0,60c	+7,97±0,11a	+24,57±0,90a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% L :1,54; a : 1,94; b : 3,19

Data pada Tabel 4.30 menunjukkan bahwa perlakuan F2 (pati ganyong HMT) berbeda nyata dengan jenis pati yang lainnya terhadap nilai L^* . Perlakuan F2 (pati ganyong HMT) berbeda tidak nyata dengan F5 (pati jagung), F4 (pati ganyong), F1 (pati ganyong HMT-GX), tetapi berbeda nyata dengan F2 (pati ganyong HMT) dan F6 (tepung terigu) terhadap nilai a^* . Perlakuan F6 (tepung terigu) berbeda nyata dengan jenis pati yang lainnya terhadap nilai b^* .

4.5.3. Tekstur Roti

Tekstur roti diamati dengan mengukur energi yang diperlukan untuk menekan roti yang mencerminkan kekerasan roti. Semakin tinggi nilai tekstur mencerminkan tekstur roti yang semakin keras. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan jenis pati berpengaruh nyata terhadap tekstur roti. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) pengaruh perlakuan jenis pati terhadap tekstur roti dapat dilihat pada Tabel 4.31. Data pada Tabel 4.31 menunjukkan bahwa perlakuan F1 (pati ganyong HMT-GX) berbeda tidak nyata dengan perlakuan F2 (pati ganyong HMT) dan F4 (pati ganyong), tetapi berbeda nyata dengan jenis pati lainnya.

Tabel 4.31. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap tekstur roti

Jenis pati/tepung	Tekstur (gf)
F4 (Pati Ganyong)	103,53±2,58 a
F2 (Pati ganyong HMT)	108,30±0,10 ab
F1 (Pati ganyong HMT-GX)	109,03±7,50 ab
F6 (Tepung Terigu)	120,77±5,75 b
F5 (Pati Jagung)	146,43±3,85 c
F3 (Pati Ganyong-GX)	150,27±7,50 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% tekstur =14,48

Nilai tekstur roti berkisar antara 103,53 gf sampai 150,27 gf. Nilai tekstur tertinggi (150,27±7,50 gf) dihasilkan pada roti yang dibuat dari F3 (pati ganyong yang ditambah 1,5% GX), sedangkan tekstur terendah (103,53 gf) terdapat pada roti yang dibuat dari F4 (pati ganyong). Roti yang dibuat dari pati ganyong termodifikasi HMT dan HMT-GX mempunyai tekstur yang lembut seperti halnya roti yang dibuat dari pati ganyong. Keunggulan roti ganyong termodifikasi HMT-GX dibandingkan roti yang dibuat dari pati ganyong yang lainnya adalah rotinya kompak dan lembut. Kekompakan tersebut disebabkan oleh penambahan gum xanthan selama modifikasi HMT.

4.5.4. Rasio Tinggi/Diameter Roti

Rasio Tinggi/diameter roti mencerminkan ketebalan roti. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan jenis pati berpengaruh nyata terhadap rasio tinggi/diameter roti. Hasil uji BNJ ($\alpha= 5\%$) pengaruh perlakuan jenis pati terhadap rasio tinggi/diameter roti dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32. Hasil uji BNJ pengaruh jenis pati terhadap rasio tinggi/diameter roti

Jenis pati/tepung	Rasio tinggi/diameter roti
F5 (Pati jagung)	0,14±0,005 a
F4 (Pati ganyong)	0,18±0,013 ab
F2 (Pati ganyong HMT)	0,24±0,001 b
F6 (Tepung terigu)	0,59±0,018 c
F1 (Pati ganyong HMT-GX)	0,74±0,043 d
F3 (Pati ganyong-GX)	0,75±0,010 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. BNJ 5% rasio tinggi/diameter roti = 0,06

Data pada Tabel 4.32 menunjukkan bahwa perlakuan F1 (pati ganyong HMT-GX) berbeda tidak nyata dengan perlakuan F3 (pati ganyong-GX), tetapi berbeda nyata dengan jenis pati lainnya. Nilai rasio tinggi/diameter roti berkisar antara 0,14 sampai 0,75. Nilai rasio tinggi/diameter tertinggi (0,75) dihasilkan pada roti yang dibuat dari pati ganyong yang ditambah 1,5% GX, sedangkan rasio tinggi/diameter roti terendah (0,14) terdapat pada roti yang dibuat dari pati jagung. Tingginya rasio tinggi/diameter roti pati ganyong yang ditambah GX dan pati ganyong termodifikasi HMT-GX mencerminkan bahwa penambahan gum xanthan diperlukan dalam pembuatan roti berbahan dasar pati. Sejalan dengan hasil penelitian Gambus *et al.* (2007) bahwa roti berbahan baku komposit pati kentang, pati jagung dan tepung jagung yang diberi *bread improver* campuran gum xanthan, *guar gum*, dan pektin dengan proposi yang sama menghasilkan volume roti yang lebih besar dibandingkan bila hanya menggunakan campuran *guar gum* dan pektin.

4.6. Analisis Sensoris Formula Roti Ganyong

Analisis sensoris dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan konsumen terhadap roti yang dibuat dari pati ganyong termodifikasi HMT-GX terpilih dibandingkan dengan roti yang dibuat dari pati jagung dan tepung terigu sebagai produk kontrol. Karakteristik sensoris roti diamati menggunakan uji hedonik yang dilakukan oleh 50 panelis dengan rentang skor 1-7 (sangat tidak suka sampai sangat suka) dan aspek yang diuji: rasa, warna, tekstur dan aroma. Hasil uji hedonik ditampilkan pada Tabel 4.33. Kesukaan panelis terhadap parameter rasa, warna, tekstur dan aroma berturut-turut berkisar pada nilai 2,84 sampai 5,34; 2,88 sampai 5,36; 2,3 sampai 5,10; dan 3,78 sampai 5,8 (sedikit tidak suka sampai suka).

Analisis *Friedman Conover* menunjukkan adanya perbedaan kesukaan terhadap rasa, warna, tekstur, dan aroma pada keenam jenis bahan roti ($p < 0.05$). Hasil uji lanjut menyatakan bahwa skor rasa tertinggi dihasilkan pada roti F1 (pati ganyong HMT-GX) yang berbeda tidak nyata dengan roti F6 (terigu) dan F3 (pati ganyong yang ditambah GX), tetapi berbeda nyata dengan roti yang dibuat dari F4 (pati ganyong), F5 (pati jagung) dan F2 (pati ganyong HMT). Sementara, untuk tingkat kesukaan tekstur dan aroma, kesukaan tertinggi juga terdapat pada roti F1 (pati ganyong HMT-GX) yang berbeda nyata dengan roti yang dibuat dengan bahan yang lain. Uji hedonik terhadap parameter warna menunjukkan penilaian panelis tertinggi terdapat pada roti F5 (pati jagung) yang berbeda nyata dengan roti yang dibuat dari bahan lain. Berdasarkan hasil uji hedonik dapat disimpulkan bahwa F1 (pati ganyong HMT-GX) dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produk roti karena disukai konsumen.

Tabel 4.33. Hasil uji hedonik roti yang dibuat dari pati ganyong

Jenis Bahan	Skor			
	Rasa	Warna	Tekstur	Aroma
F5 (Pati Jagung)	2,84±1,20 ^a	6,30±0,74 ^f	2,30±0,81 ^a	3,78±1,47 ^a
F2 (Pati ganyong HMT)	2,90±1,02 ^a	3,24±1,02 ^b	2,82±0,69 ^b	4,78±0,68 ^{b,c}
F4 (Pati Ganyong)	3,62±1,32 ^b	2,88±0,82 ^a	3,16±1,09 ^b	3,86±0,88 ^a
F6 (Tepung terigu)	4,92±0,94 ^c	5,36±0,83 ^d	5,10±0,65 ^d	4,92±0,94 ^c
F3 (Pati Ganyong-GX)	5,00±0,83 ^c	3,66±0,75 ^c	3,60±0,93 ^c	4,52±0,95 ^b
F1 (Pati ganyong HMT-GX)	5,34±0,87 ^c	5,46±0,54 ^e	5,56±0,64 ^e	5,80±0,61 ^d

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasar hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan suhu HMT (A), waktu HMT (B), konsentrasi GX (C), serta interaksi antara perlakuan AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap *swelling power*, indeks absorsi air, tekstur gel, densitas kamba pati ganyong termodifikasi HMT-GX, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap derajat pengembangan. Perlakuan suhu HMT (A), konsentrasi GX (C), dan interaksi antara AB, AC, BC, dan ABC berpengaruh nyata terhadap indeks kelarutan dalam air, sedangkan waktu HMT (B) berpengaruh tidak nyata.
2. Modifikasi dengan HMT dan penambahan gum xanthan mengubah profil gel pati ganyong tetapi tidak mengubah morfologi granula pati ganyong.
3. Perlakuan suhu HMT, konsentrasi GX, dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap suhu gelatinisasi, viskositas puncak dan akhir, serta *breakdown*. Suhu HMT dan interaksi suhu HMT dan konsentrasi GX berpengaruh nyata terhadap waktu gelatinisasi, tetapi konsentrasi GX berpengaruh tidak nyata. Sedangkan suhu HMT dan konsentrasi GX berpengaruh nyata terhadap *setback*, tetapi interaksinya berpengaruh tidak nyata.
4. Perlakuan jenis pati pada formulasi adonan roti berpengaruh nyata terhadap volume spesifik roti, nilai warna, tekstur, rasio tinggi/diameter roti dan ada perbedaan kesukaan konsumen.
5. Hasil modifikasi terbaik sebagai bahan baku roti adalah perlakuan suhu 80°C, waktu 8 jam, konsentrasi GX 1,5% dengan nilai SP 17,41±0,49 g/g, IKA 7,81±0,98 %, IAA 123,67±0,21 %, DP 1,19±0,19 mL/g, DK 0,73±0,01 g/mL, dan tekstur gel 57,20±2,69 gr, suhu gelatinisasi 72,25±0,23°C; waktu gelatinisasi 6,16±0,04 menit, viskositas puncak 4556±107,01 cP, viskositas akhir 5141±64,00 cP, *breakdown* 2235±27,51 cP, *setback* 2818±15,52 cP yang dapat menghasilkan produk roti bebas gluten dengan karakteristik volume spesifik 2,85±0,017 cm³/g, warna merah kekuningan (L^*, a^*, b^*

berturut-turut 75,13; +9,370; +29,40), tekstur roti $109,03 \pm 7,50$ gf, rasio tinggi/diameter roti 0,74, skor hedonik untuk rasa, warna, tekstur dan aroma berturut-turut 5,34; 5,46; 5,56, dan 5,80 (5 = agak suka; 6 = suka).

5.2. Saran

Pati ganyong termodifikasi *heat moisture treatment* pada suhu 80°C, waktu 8 jam, dan penambahan konsentrasi gum xanthan 1,5% dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan roti bebas gluten yang tidak memerlukan pengembangan besar dan berpotensi menghasilkan pati resisten tipe 3.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebowale K.O., Olu-Owolabi B.I., Olayinko O.O., dan Lawal O.S. 2005. Effect of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch. *Afr. J. Biotechnol.* 4(9): 928-933.
- Al-Dmoor H.M. dan Galali Y. 2014. Novelty formulas of free gluten flat bread for coeliac disease patients. *World J. Med. Sci.* 11(3):306-311.
- Alvarenga N.B., Lidon F.C., Belga E., Motrena P., Guerreiro S., Carvalho M.J., dan Canada, J. 2011. Characterization of gluten-free bread prepared from maize, rice and tapioca flours using the hydrocolloid seaweed agar-agar. *Recent Research in Science and Technology.* 3(8): 64-68.
- AOAC. 2005. *Official Methods of an Analysis of Official Analytical Chemistry.* United States of America: AOAC International.
- Ariesta E., Setyono N., Ardiati, Rahmat S., dan Sofyan. 2004. Umbi-umbian yang berjasa dan terlupa. *Simpul Pangan Jogja-Yayasan KEHATI.* Jogjakarta.
- Ashogbon A.O. dan Akintayo E.T. 2014. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Starch* 66:41-57.
- BeMiller J.N. 2011. Review: Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations. *Carbohydrate polymers* 86: 386-423
- Chaichaw C., Naivikul O., dan Thongngam M. 2011. Effect of heat moisture treatment on qualities of gluten free alkaline rice noodles from various rice flour varieties. *Journal Nat.Science* 45(3): 490-499.
- Chansri R., Puttanlek C., Rungsadthong V., dan Uttapap D. 2005. Characteristics of clear noodles prepared from edible canna starches. *J. Food Sci.* 70(5): 337-342.
- Chantaro P. dan Pongsawatmanit R. 2010. Effect of heating time on the quality of tapioca starch and xanthan gum mixture. *Kasetsart Journal* 44(6): 1183-1190
- Demirkesen J., Mert B., Summu G. dan Sahin S. 2010. Rheological properties of gluten free bread formulation. *J. Food Eng.* 96: 295-303.
- Eduardo M., Svanberg U., Oliveira J., dan Ahrne L. 2013. Effect of cassava flour characteristics on properties of cassava-wheat-maize composite bread types. *Int. J. Food Sci.* 10 halaman. Hindawi Publishing Corporation.
- Fitriani S., Sribudiani E., dan Rahmayuni. 2010. Karakteristik mutu pati sagu dari provinsi Riau dengan perlakuan heat moisture treatment (HMT). *Sagu* 9(10): 38-44.
- Freitas F., Alves V.D., dan Reis M.A.M. 2011. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. *Trends in Biotechnology,* 29(8): 388-398.
- Gambus H., Sikora M., dan Ziobro R. 2007. The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free Bread. *ACTA* 6(3):61-74.
- Garcia-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A., dan Gomez E. 2000. Xanthan gum : production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances* 18:549-579.

- Gomashe A.V., Dharmanik P.G., dan Fuke P.S. 2013. Optimization and production of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* NRRL-B-1446 from sugar beet molasses. *The IJES* 2(5): 52-55.
- Hager A., dan Arendt E.K. 2013. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocoll.* 32:195-203
- Harmani S.A., Haryadi, Cahyanto M.N., dan Pranoto Y. 2016. Potensi spaghetтини komposit semolina durum-pati ganyong dalam pembentukan short chain fatty acid dan asam laktat pada fermentasi menggunakan mikroflora feses manusia. *AGRITECH* 36(2): 189-195.
- Harmayani E., Murdiati A., dan Griyaningsih. 2011. Karakteristik pati ganyong (*Canna edulis*) dan pemanfaatannya sebagai bahan pembuatan *cookies* dan cendol. *AGRITECH* 31(4):297-303.
- Herawati D., Kusnandar F., Sugiyono, Thahir R., dan Purwani E.Y. 2010. Pati sagu termodifikasi HMT (heat moisture- treatment) untuk peningkatan kualitas bahun sagu. *J. Pascapanen* 7(1): 7-15.
- Jane J., 2004. Starch: Structure and properties. Dalam Tomasik, P. (Eds.). Chemical and functional properties of food saccharides. CRC Press. London. Hal: 81-101.
- Jiranuntakul W., Putanlek C., Rungsardthong V., dan Pancha-arnon S. 2011. Microstructural and physicochemical properties of heat moisture treated waxy and normal starches. *J. Food Eng.* 104:246-258.
- Kaur B., Ariffin F., Bhat R., dan Karim A.A. 2012. Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids* 26 : 398-404.
- Kohajdova Z., dan Karovicova J. 2008. Influence of hydrocolloids on quality of baked goods. *ACTA* 7(2):43-49.
- Koswara S. 2014. Teknologi Pengolahan Umbi-umbian. Bagian 4: Pengolahan umbi ganyong. SEAFast. Bogor. [http:// Seafast. Ipb. ac.id](http://Seafast.Ipb.ac.id).
- Kuswandari M., Anastria O., dan Wardhani D.H. 2013. Karakterisasi fisik pati ganyong (*Canna edulis* Kerr) termodifikasi secara hidrotermal. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri.* 2(4):132-136
- Lase V.A., Julianti E., dan Lubis L.M. 2013. Bihon type noodles from heat moisture treated starch of four varieties of sweet potato. *J. Teknol. dan Industri Pangan* 24(1): 89-96.
- Li Y., Zhang H., Shoemaker C.F., Xu Z., Zhu S., dan Zhong F. 2013. Effect of dry heat treatment with xanthan on waxy rice starch. *Carbohydrate polymers* 92:1647-1652.
- Lopez A.C.B., Pereira A.J.G., dan Junqueira R.G. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production gluten free white bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47(1):63-70.
- Lorenz K. dan Kulp K.C.F. 1982. Cereal and root starch modification by heat moisture treatment : Physico-chemical properties. *Starch* 2:50-54.
- Mandala I.G., dan Bayas E. 2004. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloids* 18:191-201.
- Maulani R.R., Fardiaz D., Kusnandar F., dan Sunarti T.C. 2013. Sifat fungsional pati garut hasil modifikasi hidroksipropilasi dan taut silang. *J. Teknol. dan Industri Pangan* 24(1): 60-67.

- Mishra T., Goyal A.K., Middha S.K., dan Sen A. 2011. Antioxidative properties of *Canna edulis* Ker-Gawl. *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 2(3):315-321.
- Miyazaki M., Hung P.V., Maeda T. dan Morita N. 2006. Recent Advances in Application of Modified Starches for Bread Making. *Trends in Food and Technology* 17:591-599.
- Morris V.J. 2006. Bacterial polysaccharides. Dalam Stephen, A.M.; Phillips, G.O., dan Williams, P.A. (Ed.): *Food polysaccharides and their applications*. New York: CRC Press. Pages: 413-443.
- Noranizan M.A., Dzulkifly M.H., dan Russly A.R. 2010. Effect of heat treatment on the physico-chemical properties of starch from different botanical sources. *International Food Research Journal* 17: 127-135
- Onyango C., Mewa E.A., Mutahi A.W., dan Okoth M.W. 2013. Effect of heat-moisture-treated cassava starch and amaranth malt on the quality of sorghum-cassava-amaranth bread. *Afr. J. Food Sci.* 7(5): 80-86.
- Onyango C. 2016. Starch and modified starch in bread making: A review. *Afr. J. Food Sci.* 10(12): 34-351.
- Palaniraj A. dan Jayaraman V. 2011. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *J. Food Eng.* 106:1-12.
- Peressini D., Pin M., dan Sensidoni A. 2011. Rheology and breadmaking performance of rice-buckwheat batters supplemented with hydrocolloids. *Food Hydrocolloids* 25:340-349.
- Persagi, P.A.G.I. 2005. Daftar komposisi bahan makanan. Persagi. Jakarta.
- Petersen R.G. 1985. Design and analysis of experiments. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Piyachomkwan K., Chotineeranat S., Kijkhunasatian C., Tonwitawat R., Prammanee S., Oates C.G., dan Sriroth K. 2002. Edible *canna* (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Industrial Crops and Products* 16 : 11-21.
- Pratama F. 2013. Evaluasi sensoris. Unsri Press. Palembang.
- Puncha-arnon S., Puttanlek C., Rungsardthang V., Pathipanawat W., dan Uttapap D. 2007. Change in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development. *Carbohydrate Polymers* 70: 206-217.
- Purnomo E.H., Purwani E.Y., Sulistyawati T.W. 2015. Optimasi penggunaan hidrokoloid terhadap pasta macaroni berbasis beras beramilosa tinggi. *J. Teknol. dan Industri Pangan* 26(2): 241-251.
- Putri W.D.R., Haryadi D.W., Marseno, dan Cahyanto, M.N. 2011. Effect of biodegradation by lactic acid bacteria on physical properties of cassava starch. *International Food Research Journal* 18(3):1149-1154.
- Putri W.D.R., Zubaidah E., dan Ningtyas D.W. 2014. Effect of heat moisture treatment on functional properties and microstructural profiles of sweet potato flour. *Advance Journal of Food Science and Technology* 6(5): 655-659.
- Rakkar P.S. 2007. Development of a gluten-free commercial bread. Thesis. Auckland University of Technology. Auckland

- Ratnayake W.S. dan Jackson D.S. 2006. Gelatinization and solubility of corn starch during heating in excess water: new insights. *J. Agri. Food Chem.* 54: 3712-3716.
- Richana N. dan Sunarti T.C. 2004. Karakteristik sifat fisikokimia tepung umbi dan tepung pati dari umbi ganyong, suweg, ubikelapa dan gembili. *Jurnal Pascapanen* 1(1): 29-37.
- Sciarini L.S., Riboota P.D., Leon A.E., dan Perez G.T. 2012. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *J. Food Eng* 111:590-597.
- Selomulyo V.O. dan Zhou W. 2007. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *J. Cereal Sci.*45:1-17
- Senanayake S., Gunaratne A., Ranawera K.K.D.S., dan Bamunuarachchi A., 2013. Effect of heat moisture treatment conditions on swelling power and water soluble index of different cultivars of sweet potato (*Ipomea Batatas* (L). Lam) starch. *ISRN Agronomy*. Hindawi Publishing Corporation: 1-4.
- Slamet A. 2010. Pengaruh perlakuan pendahuluan pada pembuatan tepung ganyong (*Canna edulis*) terhadap sifat fisik dan amilografi tepung yang dihasilkan. *Agrointek* 4(2):100-104.
- Soni P.L., Sharma H., Srivastava H.C., dan Gharia M.M. 1990. Physicochemical properties of *Canna edulis* starch-comparison with maize starch. *Starch* 42(12):460-464.
- Suhartini T. dan Hadiatmi. 2010. Keragaman karakter morfologi tanaman ganyong. *Buletin Plasma Nutfah* 16(2):118-125.
- Sui Z, Yao T., Zhao Y., Ye X., Kong X, dan Ai L.2015. Effects of heat moisture treatment reaction conditions on the physicochemical and structural properties of maize starch: Moisture and length of heating. *Food Chem.* 173: 1125-1132
- Syamsir E., Hariyadi P., Fardiaz D., Andarwulan N., dan Kusnandar F. 2012. Pengaruh proses *heat-moisture treatment (HMT)* terhadap karakteristik fisikokimia pati. *J. Teknol dan Industri Pangan* 23(1): 100-106.
- Turabi F., Sumnu G., dan Sahin S. 2010. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids* 24: 755-762.
- Vamadevan V dan Bertoft E. 2014. Structure-function relationships of starch components. *Starch* 66:1-14.
- Watcharatewinkul Y., Puttanlek C., Rungsardthong V., dan Uttapap D. 2009. Pasting properties of heat-moisture treated *canna* starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydrate Polymers* 75(3):505-511.
- Weber F.H., Clerici M.T.P.S., Collares-Queiroz F.P., dan Chang Y.K., 2009. Interaction of guar and xanthan gums with starch in the gels obtained from normal, waxy and high-amylose corn starches. *Starch* 61:28-34.
- Widjajaputra B. 2007. Pengelolaan tanaman terpadu untuk umbi-umbian. Sanggar anak bumi tani, Perkumpulan GEMPA, Yayasan KEHATI. Jogjakarta.
- Witono J.R.B., Santoso H., Miryanti Y.I.P.A., dan Tan D. 2013. Integration of physical and chemical treatment on the extraction of starch from *Canna edulis* Kerr. Rhizome. *Agricultural Sciences* 4:51-55

- Witczak M., Juszcak L., Ziobro R., dan Korus J. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten free dough and bread. Part. 1: Rheological and thermal properties of gluten free dough. *Food hydrocolloids*. 28:353-360.
- Zhang J., Wang Z., dan Shi X. 2008. Effect of microwave heat/moisture treatment on physicochemical properties of *Canna edulis* Ker starch. *J. Sci. Food Agri*. 89:653-664.