JURNAL REKAYASA PROSES
VOLUME 19, NOMOR 1, 2025, 12–24

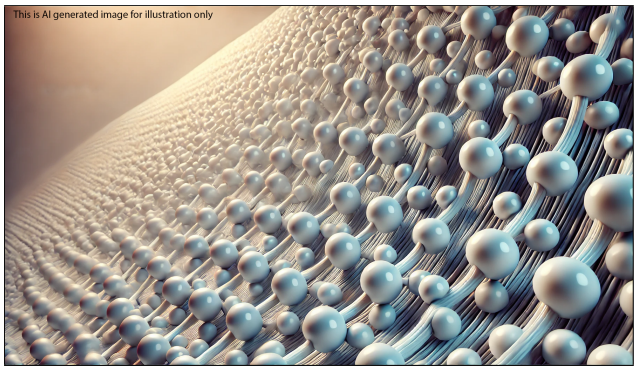
ARTIKEL PENELITIAN

Perbedaan struktur molekul karet alam dengan proses termal koagulan berdasarkan analisis FTIR

Feerzet Achmad[1,*], Yusril Mahendra Simbolon[1], Kristomi Yahya Sinaga[1], Syifa Az-Zahra[1], Reni Yuniarti[1], Yazid Bindar[2]

[1]Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 35365, Indonesia
[2]Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat, 40132, Indonesia

Disubmit 22 Januari 2024; direvisi 08 Desember 2024; diterima 02 Januari 2025



OBJECTIVES Rubber is one of the most abundant and valuable biological natural resources in Indonesia. However, in the processing, it was necessary to find more efficient and economical methods that could be easily applied by the community. Therefore, this study aimed to evaluate the thermal performance of coagulants in latex coagulation, compared the costs of traditional and modern coagulants, and explored the potential of natural rubber as a high-value derivative compound through FTIR testing. METHODS Two types of thermal coagulants were used: a traditional method involving firewood and a modern method using a laboratory oven. The variations in latex weight used were 0.5 kg, 0.75 kg, 1 kg, 1.25 kg, and 1.5 kg. RESULTS The coagulated rubber samples were then subjected to Fourier Transform Infrared (FTIR) testing to analyze the compound content. CONCLUSIONS The FTIR results for both traditional thermal coagulants at high and medium heat, as well as for modern thermal coagulants in the oven, showed the typical functional groups found in rubber, including C-H, C=C, and C-C carbon bonds.

KEYWORDS fourier transform infrared (FTIR); modern thermal coagulant; rubber; traditional thermal coagulant

TUJUAN Karet merupakan salah satu sumber daya alam hayati yang sangat potensial dan berlimpah di Indonesia. Namun dalam proses pengolahannya, masih perlu dicari metode yang lebih efisien dan ekonomis agar dapat diterapkan dengan mudah oleh masyarakat. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja termal koagulan dalam penggumpalan lateks, membandingkan biaya koagulan tradisional dan modern, serta mengeksplorasi potensi karet alam sebagai bahan senyawa turunan bernilai tinggi melalui uji FTIR. METODE Termal koagulan yang digunakan ada 2 (dua), tradisional menggunakan kayu bakar dan modern menggunakan oven laboratorium. Variasi berat lateks yang digunakan 0,5 kg, 0,75 kg, 1 kg, 1,25 kg, dan 1,5 kg. HASIL Kemudian hasil termal koagulan dilakukan uji Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk melihat kandungan senyawa yang terdapat di dalam karet. KESIMPULAN Hasil uji FTIR pada termal koagulan tradisional pada api besar dan sedang serta termal koagulan modern pada oven menunjukkan gugus fungsi khas dari karet yaitu adanya ikatan karbon C-H, C=C dan C-C.

KATA KUNCI *fourier transform infrared* (FTIR); karet; termal koagulan tradisional; termal koagulan modern

1. PENDAHULUAN

Karet merupakan salah satu sumber daya alam hayati yang sangat potensial dan berlimpah di Indonesia. Keadaan alam Indonesia yang beriklim tropis menjadi wilayah yang strategis untuk tumbuhnya pohon karet (Astrid dkk. 2014). Karet alam merupakan senyawa hidrokarbon yang mengandung atom karbon (C), atom hidrogen (H) dan merupakan senyawa isoprena sebagai monomernya. Menurut (Achmad dan Deviany 2022). Karet alam merupakan polimer alami yang tersusun dari satuan unit ulang (monomer) trans/cis 1,4- isoprene. Rumus umumnya $(C_5H_8)_n$, dengan n adalah bilangan yang menunjukkan jumlah monomer, berkisar antara 3000-15000. Semakin besar harga n maka molekul karet semakin panjang, bobot molekul semakin besar, dan viskositas semakin kental (*viscous*) (Dalimunthe dkk. 1996).

Karet alam secara umum adalah senyawa protein, lipida, karbohidrat, hidrokarbon, persenyawaan organik lain, mineral, dan air. Besarnya persentase masing-masing bagian tersebut tidak sama, tergantung pada usia tanaman, klon, sistem sadap, cara penggumpalan/koagulasi, dan peralatan yang digunakan (Budiman 1996). Berikut menurut penelitian (Rahman Hakim dkk. 2019) komposisi karet alam ditampilkan pada Tabel 1.

*Korespondensi: feerzet.achmad@tk.itera.ac.id

© Penulis 2025, di bawah persyaratan lisensi CC BY-SA 4.0.

TABEL 1. Komposisi kimia karet alam pada lateks segar dan lateks kering .

No	Komponen	Komponen dalam lateks segar (%)	Komponen dalam lateks kering (%)
1	Karet Hidrokarbon	36	92-94
2	Protein	1,4	2,5-3,5
3	Karbohidrat	1,6	-
4	Lipida	1,6	2,5-3,2
5	Persenyawaan Organik Lain	0,4	-
6	Mineral	0,5	0,1-0,5
7	Persenyawaan Anorganik Air	58,5	0,3-1,0

Karet alam mempunyai beberapa sifat mekanik yaitu pada temperatur ruangan, karet tidak berbentuk kristal padat dan juga tidak berbentuk cairan. Karet alam bisa mengkristal pada temperatur -26°C, Karet alam bisa dibuat menjadi karet yang agak kaku tetapi masih mempunyai fleksibilitas dan ketahanan kikis, ketahanan retak lentur serta kekuatan tinggi. Karet alam harus didegradasi untuk memutus rantai molekulnya agar menjadi lebih pendek (Prastanto dkk. 2018). Selain memiliki sifat mekanik, karet alam juga memiliki berbagai sifat kimia. Karet alam merupakan bahan semi-cair atau cairan dengan viskositas sangat tinggi, memiliki rantai molekul yang panjang, dan mudah melekat satu sama lain. Sifat fisika dari karet alam meliputi kemampuannya untuk mudah menggulung pada roll saat diproses dengan open mill (penggiling terbuka). Karet alam berwarna kecoklatan, tembus cahaya atau setengah tembus cahaya, mudah bercampur dengan berbagai bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan compound, serta lembut dan elastis. Karet ini juga fleksibel pada suhu rendah, memiliki heat build up yang rendah, dan bagian vulkanisatnya kuat serta tahan lama, bahkan dapat digunakan pada suhu hingga -60°F (Hasan dkk. 2019).

Penelitian mengenai koagulan termal telah dilakukan sebelumnya. Kajian literatur terdahulu yang menjadi dasar kebaruan penelitian ini pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 terdapat 6 kajian literatur terdahulu yang menggunakan metode koagulasi dengan termal/pengeringan. Setiap kajian literatur memiliki variasi yang berbeda, seperti jenis briket, waktu nyala, kecepatan pembakaran, nilai kalor, uji kinerja, uji fungsional, laju pengeringan, penurunan kadar air, temperatur pengovenan, tenaga kerja, energi listrik, dan energi bahan bakar. Pada penelitian ini, digunakan metode koagulasi dengan koagulan termal, menggunakan variasi koagulan termal modern dan tradisional. Perbandingan ekonomi dari masing-masing variasi akan dilakukan untuk mengidentifikasi besaran biaya yang diperlukan.

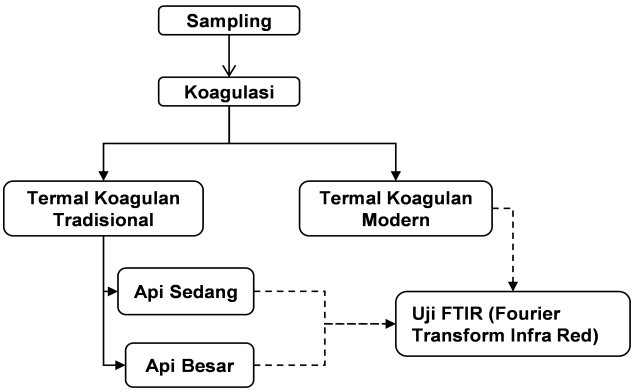
Karet alam memiliki struktur molekul yang sama dengan minyak bumi, dimana keduanya merupakan senyawa hidrokarbon yang mengandung atom karbon (C), atom hidrogen (H). Penelitian menggunakan termal koagulan berguna untuk menghindari kontaminasi bahan kimia atau alami yang dapat merusak stuktur dari karet. Petani karet biasanya menambahkan koagulan kimia atau koagulan alami untuk menggumpalkan lateks. Lateks (dalam bentuk cair) diolah di 2 jenis pabrik pengolahan yaitu Pabrik Pengolahan *Sheet* (Getah Asap) dan Pabrik Pengolahan Lateks Pusingan. Sementara untuk lateks yang sudah menggumpal (sering disebut juga kompo) diolah di Pabrik Pengolahan *Crumb Rubber*. Untuk mempercepat pembekuan lateks maka dilakukan penambahan koagulan (biasanya *Formic Acid*).

Pada penelitian ini dilakukan dengan pengeringan keret alam untuk menghilangkan kadar air yang terdapat didalam lateks. Lateks dikeringkan menggunakan kayu bakar pada termal koagulan secara tradisional (TKT) dan oven pada termal koagulan secara modern (TKM). Dilakukannya penelitian ini untuk menghindari adanya campuran senyawa

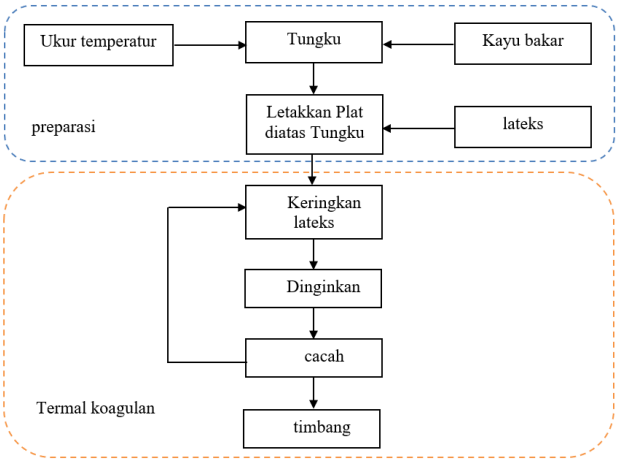
TABEL 2. Perbandingan studi literatur metode koagulasi termal dan pengeringan lateks.

No	Metode Koagulasi	Klon	Variasi	Karakteristik	Hasil	Referensi
1	Termal	-	Jenis briket, waktu nyala, kecepatan pembakaran, nilai kalor.	-	Q(Biobriket) >Q(Biomassa Briket)	(Vachlepi dan Suwardin 2013)
2	Termal/ Pengeringan	-	Uji Kinerja, Uji Fungsional	Kadar ASH, Kadar air	Menurunkan berat lateks 36% dengan waktu 48 jam dan temperatur tertinggi 760°C.	(Rahardiansyah dkk. 2014)
3	Pengeringan	-	Laju Pengeringan, penurunan Kadar Air	Uji Visual, Uji nilai PRI	Pengasapan proses pengeringan dapat digunakan, penjemuran dan pengeringan rumah kaca tidak dapat digunakan, nilai PRI dan RSS tidak memenuhi standar.	(Sasmita 2016)
4	Termal	-	Temperatur Pengovenan	Kadar Karet Kering (KKK)	Temperatur pengovenan 1600°C dan menghasilkan 67,86% nilai KKK	(Pusari dan Haryanti 2014)
5	Pengeringan	-	Man Power, Energi listrik, Energi bahan bakar	-	Nilai intensitas energi pada pengolahan karet belum efektif.	(Suwardin dkk. 2016)
6	Pengeringan	-	Temperatur	Nilai plasticity (Po, Pa, PRI) dan viscosity Mooney	Karet memenuhi syarat sebagai SIR 10 dengan kadar kotoran 0,03–0,049%, kadar abu 0,37–0,48%, volatile matter 0,34–0,38%, Po 39–48,5 dan PRI 70,5–76,7.	(Mirwan dan Rahmat Wicakso 2005)
7	Termal koagulan	PB 260	Termal koagulan modern dan termal koagulan tradisional	FTIR	Perbandingan ekonomi, Nilai kalor	-

 DOI 10.22146/jrekpros.11875



GAMBAR 1. Diagram alir tahapan proses koagulasi termal dan pengujian FTIR.



GAMBAR 2. Diagram alir proses pengeringan dan pencacahan karet dengan metode tradisional.

lain dalam penggumpalan lateks. Kemudian dilakukan karakterisasi dengan spectrometer FTIR (*Fourier Trasform Infra Red*) untuk memperoleh spektra gelombang pembentukan gugus fungsi yang terbentuk pada proses modifikasi karet alam (Eddiyanto dkk. 2022). Spektrum FTIR merupakan hasil interaksi antara senyawa-senyawa kimia dalam matriks sampel yang kompleks. Spektrum FTIR sangat kaya dengan informasi struktur molekular dengan serangkaian pita serapan yang spesifik untuk masing-masing molekul sehingga dapat digunakan untuk membedakan suatu bahan baku yang memiliki kemiripan (Nurfitriyana dkk. 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan kinerja termal koagulan dalam koagulan lateks. Adapun maksud tujuan ini adalah agar pengguanaan dan pemanfaatan termal koagulan dapat digunakan oleh masyarakat setempat dalam penggumpalan lateks. Tujuan kedua dari penelitian ini ialah proses termal dapat dilakukan oleh masyarakat setempat untuk meminimalisir biaya pengeluaran untuk penggumpalan lateks. Tujuan ini untuk membandingkan biaya pengeluaran termal koagulan tradisional dan termal koagulan modern. Tujuan ketiga dari penelitian ini ialah untuk mempelajari potensi pemanfaatan karet alam untuk produksi senyawa turunan karet alam yang lebih bernilai agar dapat digunakan dalam berbagai lini industri kimia. Dalam mengetahui senyawa turunan tersebut dikalukan uji FTIR pada sampel karet.

Tujuan akhir dari penelitian ini berbeda dengan standar untuk penggunaan karet pada umumnya. Karet yang selama ini di produksi bertujuan sebagai bahan dasar pembuatan ban kendaraan, sarung tangan, dan lain lain, sedangkan untuk penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur molekul karet hasil termal koagulan. Penelitian ini dilakukan menggunakan termal koagulan guna untuk menghindari karet terkontaminasi dengan bahan kimia dan alami yang biasa digunakan sebagai koagulan. Hal tersebut juga dilakukan untuk mempermudah dilakukannya pirolisis yang dimana pada hasil akhir akan memperoleh senyawa minyak bumi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan mempersiapkan sampel lateks yang akan diuji dan melibatkan dua metode pengeringan, yaitu pengeringan secara tradisional dan modern. Pada pengeringan tradisional, digunakan perlakuan dengan api besar dan sedang. Proses koagulasi atau pengeringan tradisional dilakukan dengan tungku yang dilengkapi kayu bakar yang telah ditimbang sebelumnya serta plat besi untuk mengeringkan sampel lateks. Pengeringan modern digunakan sebagai pembanding dengan mengunakan oven, dan hasil dari kedua perlakuan tersebut diuji menggunakan FTIR. Tahapan penelitian yang lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 1.

2.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lateks yang diperoleh dari kebun karet Institut Teknologi Sumatera dengan klon PB 260 dan usia pohon karet sekitar ±10 tahun, serta kayu bakar yang berasal dari kayu sisa hasil pembangunan di sekitaran kampus. Alat yang digunakan meliputi: pisau deres untuk menyayat batang pohon karet agar menghasilkan lateks, mangkuk lateks untuk menampung lateks hasil deres, *ring* mangkuk sebagai penyangga mangkuk lateks, *stopwatch* untuk menghitung waktu pengeringan, neraca analitis untuk menimbang berat lateks, karet, dan kayu bakar, termometer untuk mengukur temperatur lateks dan karet, plat TKT (3 cm x 50 cm x 75 cm), pisau dan gunting untuk memotong karet menjadi bagian-bagian kecil, korek api, ember, oven Memmert berkapasitas 53 liter, serta Fourier Transform Infrared (FTIR) Shimadzu 820PC.

2.2 Metode penelitian

2.2.1 *Sampling* lateks

Lateks disadap dari pohon karet, kemudian sampel ditimbang untuk menentukan berat lateks sesuai dengan variabel tetap dalam percobaan penelitian.

TABEL 3. Data proses koagulasi termal tradisional dan modern: berat, temperatur, waktu, dan kalor.

No	Koagulan	Kategori Api	Temp. (°C)	Berat (kg)				Temperatur (°C)		Waktu Termal (jam)	Kalor (J)	
				Lateks	Karet	Kayu awal	Kayu akhir (abu)	Lateks	Karet			
1	Termal Koagulan Secara Tradisional	Sedang	60-100	0,75	0,32	2,633	0,264	30	90	12,20	104,5082	76500
		Besar	110-150	1,5	0,66	6,016	0,593	30	145	28,70	170,2962	293250
2	Termal Koagulan Secara Modern	Oven	145	1,5	0,68	-	-	30	145	933,60	3,0795	172500

TABEL 4. Rekapitulasi nilai transmittance FTIR pada berbagai metode koagulasi.

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	451	39385,29	87,32879	105,518
Column 2	451	42368,16	93,94271	62,75336
Column 3	451	40847,02	90,56989	66,41235

TABEL 5. Hasil analisis ANOVA untuk nilai transmittance FTIR antar kelompok koagulasi.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9865,546	2	4932,773	63,05643	0	3,00239
Within Groups	105607,7	1350	78,22791			
Total	115473,2	1352				

2.2.2 Proses pengeringan dan koagulasi

Pada proses pengeringan secara tradisional (TKT) dilakukan dengan menyiapkan tungku yang sudah dilengkapi dengan kayu bakar yang beratnya sudah ditimbang terlebih dahulu. Kemudian tempatkan wadah pengeringan ke atas tungku yang sudah menyala dan ukur temperaturnya hingga sesuai dengan temperatur percobaan (api sedang 60-1000°C dan api besar 110-150°C). Lateks ditimbang sesuai variasi berat lateks dan tuang ke wadah pengeringan yang terbuat dari plat baja, kemudian terjadilah penggunpalan lateks.

Saat lateks mulai menggumpal, perlu memastikan tidak ada gelembung- udara di dalam lateks. Setelah sisi bawah lateks sudah menggumpal, lateks dapat dibalikkan untuk mengeringkan sisi atasnya. Proses ini berlanjut hingga lateks menggumpal sempurna, setelah itu lateks dapat dipindahkan ke wadah penyimpanan.

Karet yang sudah kering dialakukan pencacahan untuk mengurangi ukurannya. Pisahkan karet yang berwarna putih (*white spot*) dikarenakan proses pengeringan tidak sempurna. Timbang karet sebelum dan sesudah mengalami termal koagulan untuk menentukan TSC dan kadar air. Diagram alir Proses *Drying*/Pengeringan dan pecacahan dapat dilihat pada Gambar 2

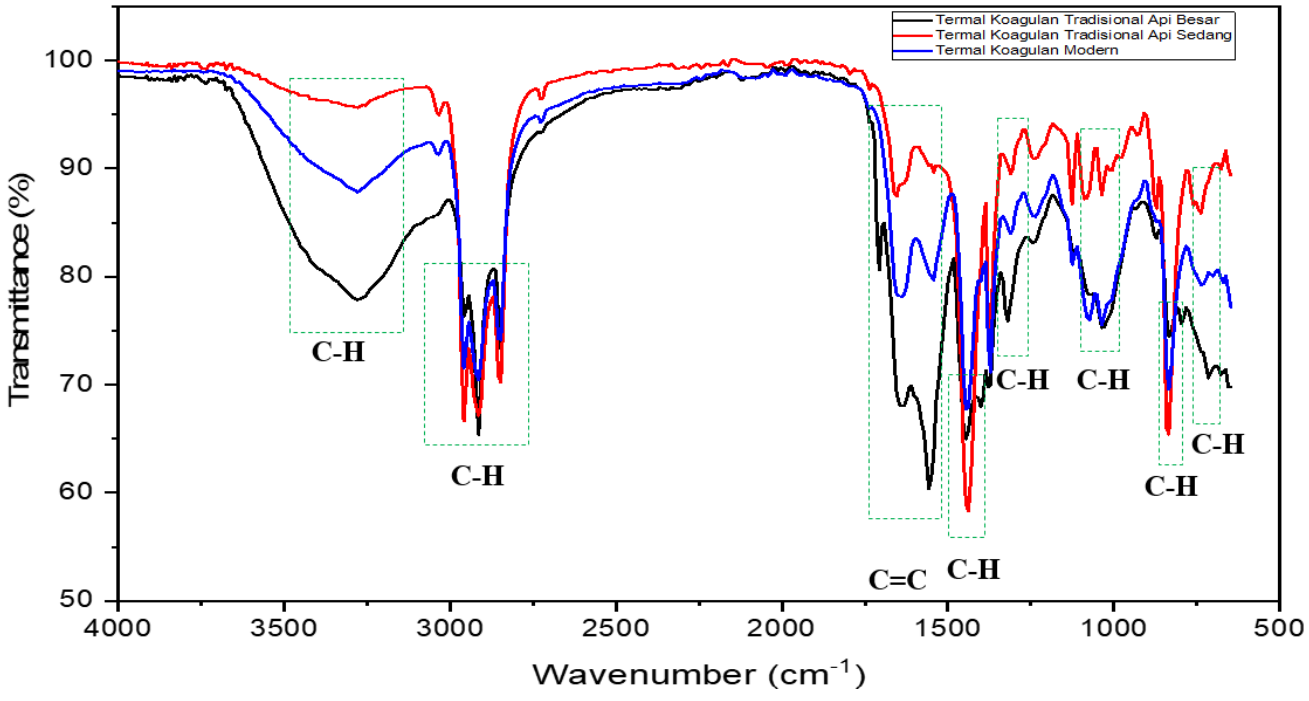
Pada proses pengeringan secara modern (TKM), temperatur oven dinaikkan hingga mencapai 145°C. Lateks dituangkan ke dalam plat yang dilapisi aluminium foil dan kemudian dimasukkan ke dalam oven hingga kadar air yang terdapat dalam lateks menguap seluruhnya. Setelah lateks dikeringkan melalui proses TKT dan TKM, didapatkan waktu koagulasi termal serta nilai *Total Solid Content* (TSC). Penentuan tahap pematangan lateks dilihat dari sifat fisik karet yang berwarna kecoklatan serta tidak adanya perubahan berat pada karet yang telah diukur sebanyak tiga kali penimbangan.

2.2.3 Uji *fourier transform infrared* (FTIR)

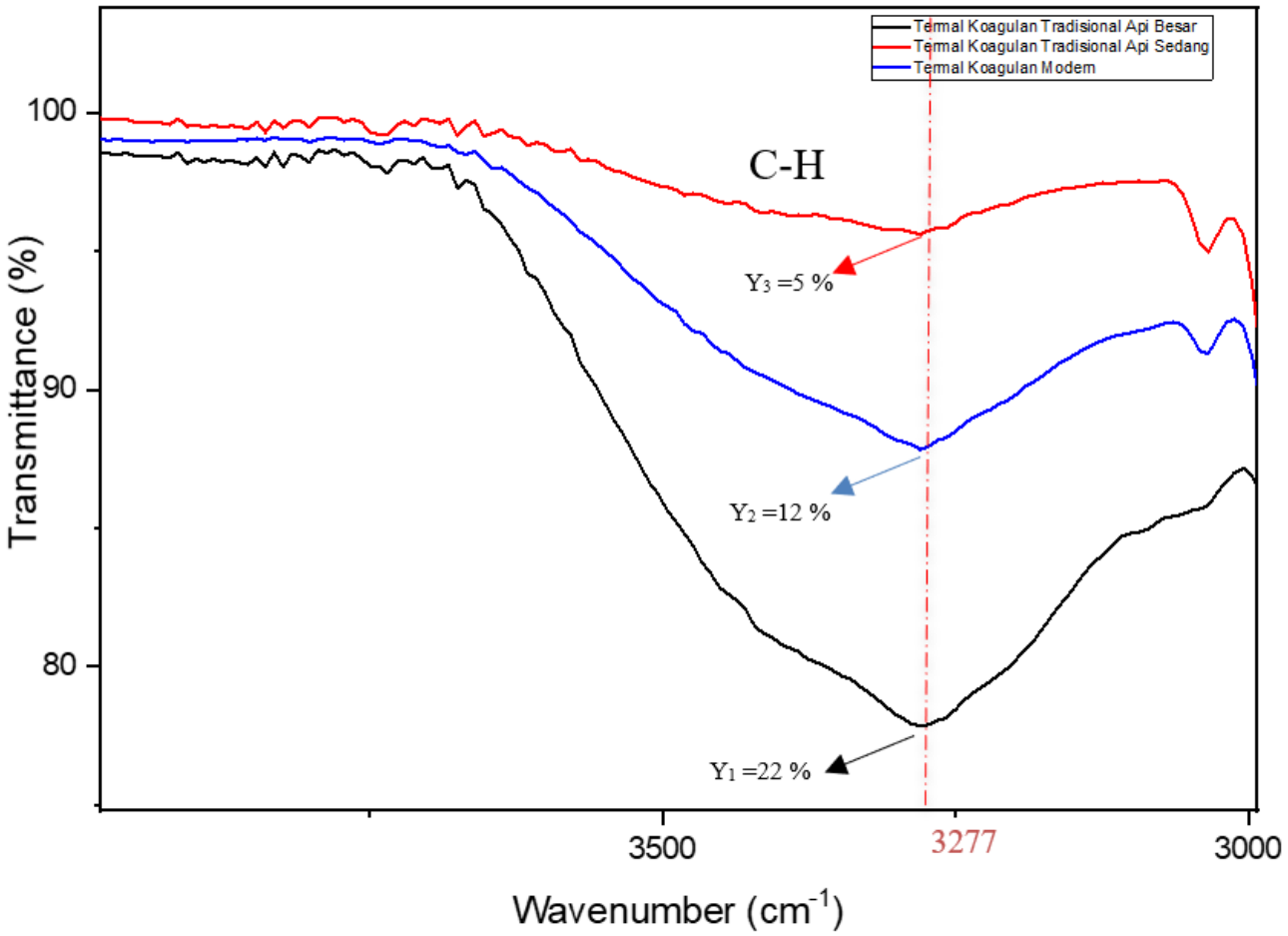
Uji FTIR dilakukan untuk menganalisis kandungan senyawa yang terdapat dalam lateks.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian termal koagulan dengan menggunakan kayu bakar dan oven berupa berat lateks, berat karet, berat awal kayu bakar sebelum pengeringan, berat akhir kayu bakar setelah pengeringan (berat abu), temperatur lateks, tem-



GAMBAR 3. Spektrum FTIR karet alam hasil koagulasi tradisional dan modern.



GAMBAR 4. Spektrum FTIR pada rentang bilangan gelombang 3000–4000 cm^{-1}.

peratur karet, waktu termal, laju kalor dan kalor disajikan pada Tabel 3.

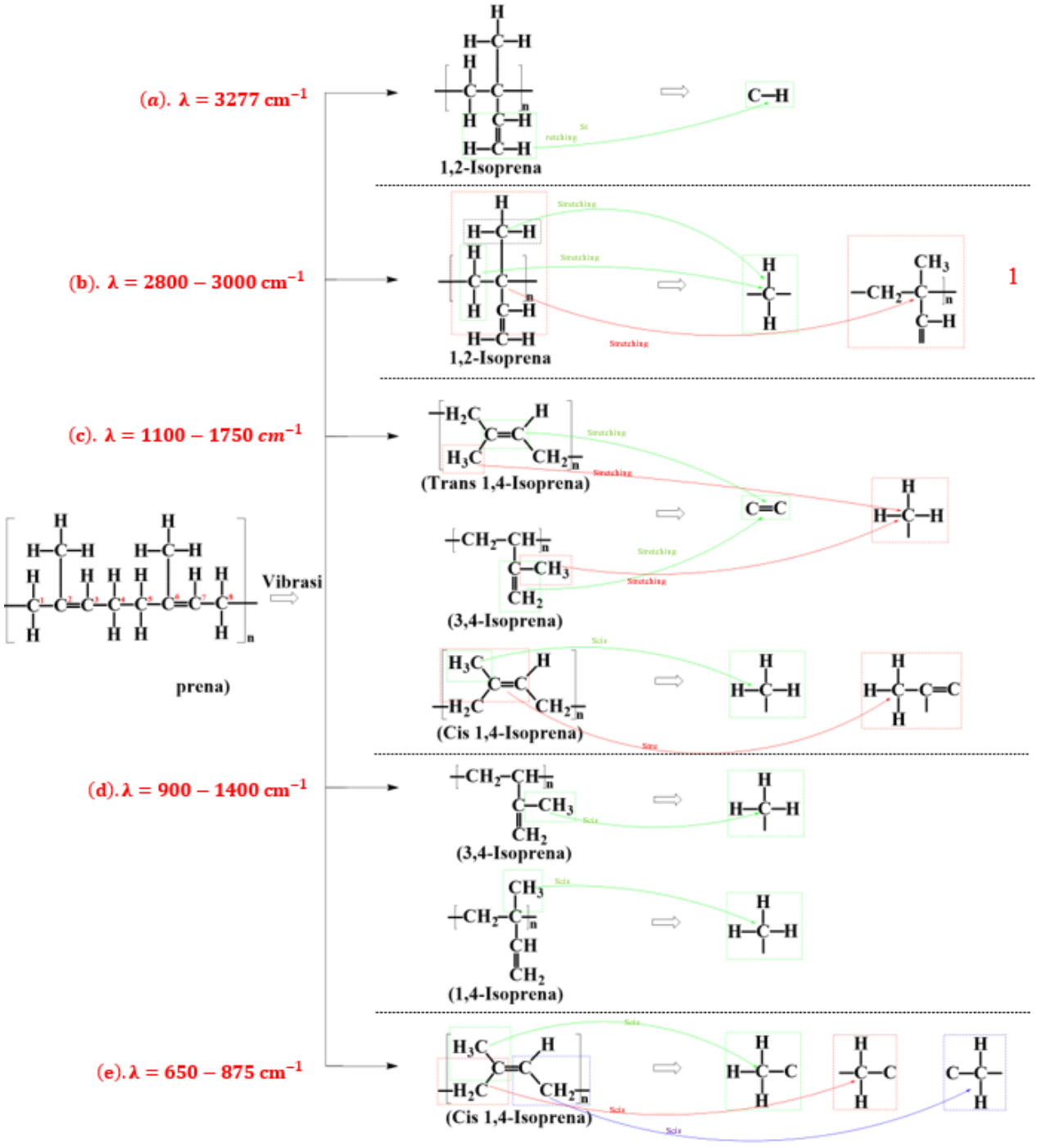
Dari Tabel 3 merupakan data sampel yang dilakukan uji FTIR, dimana pada kategori api sedang variasi berat lateks 0,75 kg, dan setelah dilakukan pengeringan didapatkan berat karet 0,32 kg. Berat kayu awal yang digunakan untuk pengeringan sebesar 2,633 kg, dan berat abu sebesar 0,264 kg. Temperatur awal yang digunakan pada pengeringan sebesar 30°C dan temperatur akhir sebesar 90°C, waktu untuk pengeringan kategori api sedang sebesar 12,20 menit dengan laju kalor sebesar 104,50 J/s.

Pada kategori api besar variasi berat lateks 1,5 kg, dan setelah dilakukan pengeringan didapatkan berat karet 0,66 kg. Berat kayu awal yang digunakan untuk pengeringan sebesar 6,016 kg, dan berat abu sebesar 0,593 kg. Temperatur awal yang digunakan pada pengeringan sebesar 30°C dan temperatur akhir sebesar 145°C, waktu untuk pengeringan kategori api besar sebesar 28,70 menit dengan laju kalor sebesar 170,29 J/s.

Pada pengeringan secara modern dengan menggunakan oven variasi berat lateks 1,5 kg, dan setelah dilakukan pengeringan didapatkan berat karet 0,68 kg. Temperatur awal yang digunakan pada pengeringan sebesar 30°C dan temperatur akhir sebesar 145°C, waktu untuk pengeringan menggunakan oven sebesar 933,60 menit dengan laju kalor sebesar 3,07 J/s. Hasil tes annova dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Dari hasil test pada Table 4 dan Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa H0 ditolak. Dari ketiga kelompok sampel memiliki rata rata nilai tes yang berbeda.

Metode analisis spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) atau spektroskopi inframerah digunakan dalam penelitian ini. Metode ini didasarkan pada prinsip interaksi senyawa kimia dengan radiasi elektromagnetik, yang menghasilkan getaran (vibrasi) ikatan kimia poliatomik atau gugus fungsional senyawa kimia (Cholifah 2016). Pada penelitian ini, dilakukan uji FTIR terhadap sampel karet termal koagulan tradisional dan termal koagulan modern. Sampel karet dipilih berdasarkan nilai TSC (*total solid content*) tertinggi. Uji termal koagulan tradisional dengan api besar dilakukan pada berat lateks 0,75 kg dengan TSC 46,67%. Uji termal koagulan tradisional dengan api sedang dilakukan pada berat lateks 1,5 kg dengan TSC 45,33%. Sedangkan uji termal koagulan modern dilakukan pada berat lateks 1,5 kg dengan TSC 45,21%.

Berdasarkan analisis Gambar 3, terlihat adanya beberapa puncak transmitansi pada spektrum FTIR yang menunjukkan terjadinya pembentukan atau perubahan gugus fungsi pada poliisoprena. Terlihat pula adanya puncak gugus fungsi C-H dan C=C, yang mengindikasikan bahwa termal koagulan memiliki pengaruh terhadap struktur kimia poliisoprena. Dari hasil uji FTIR ini, terlihat perbedaan puncak pada termal koagulan tradisional dengan api besar dan sedang, serta termal koagulan modern. Puncak spektrum FTIR dari termal koagulan dengan api besar memiliki intensitas yang paling tajam, sedangkan termal koagulan tradisional dengan api sedang memiliki intensitas puncak yang lebih le-



GAMBAR 5. Profil vibrasi termal koagulan pada spektrum 3000–4000 cm^{-1}.

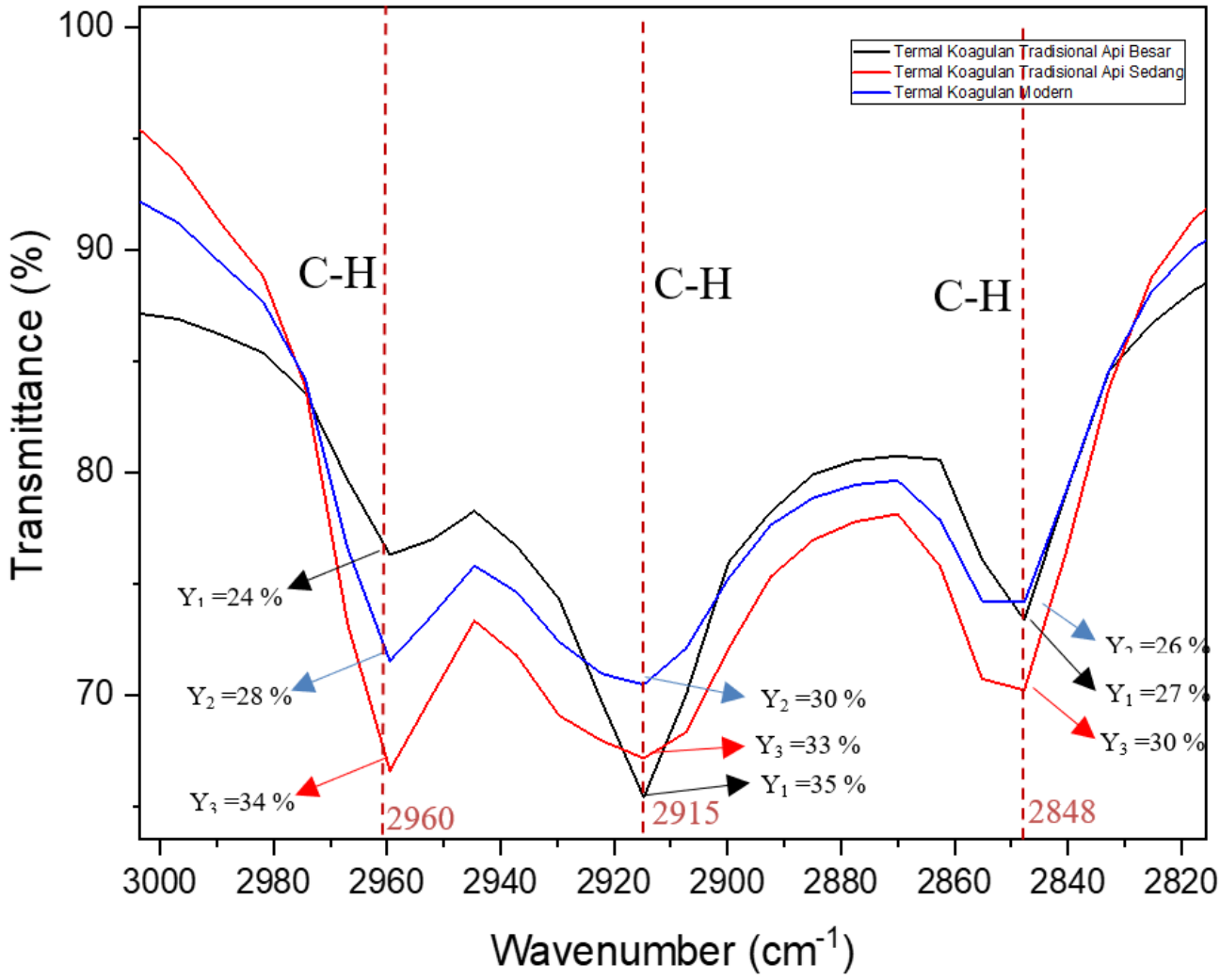
mah. Hal ini dapat diatribusikan pada perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh masing-masing termal koagulan. Semakin tinggi temperatur, maka puncak spektrum FTIR akan menjadi lebih tajam, hal ini menunjukkan adanya pembentukan atau perubahan gugus fungsi pada poliisoprena yang lebih signifikan.

Dalam penelitian ini termal koagulan modern adalah standard/*control*, dimana kondisi operasi yang digunakan lebih stabil/ terkendali. Hasil uji termal koagulan memiliki tinggi *transmittance* yang berbeda-beda.

3.1 Hasil uji FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 3000 cm^{-1} - 4000 cm^{-1}

Pada penelitian ini dilakukan analisis spektrum FTIR pada TKT dan TKM Hasilnya dibandingkan dengan tinggi *tramsmittance* yang didapatkan pada masing-masing termal koagulan. Hasil pengujian FTIR pada bilangan gelombang 3000-4000 cm^{-1} dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4 diatas didapatkan hasil uji FTIR pada puncak bilangan gelombang 3277 cm^{-1}. Pada bilangan gelombang ini ditandai adanya ikatan gugus fungsi C-H. Ikatan ini merupakan ikatan spesifik yang terdapat pada senyawa isoprene (Adi Suhardjo dkk. 2011). Persen *transmittance* yang tertinggi pada bilangan gelombang 3277 cm^{-1} ini adalah termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak



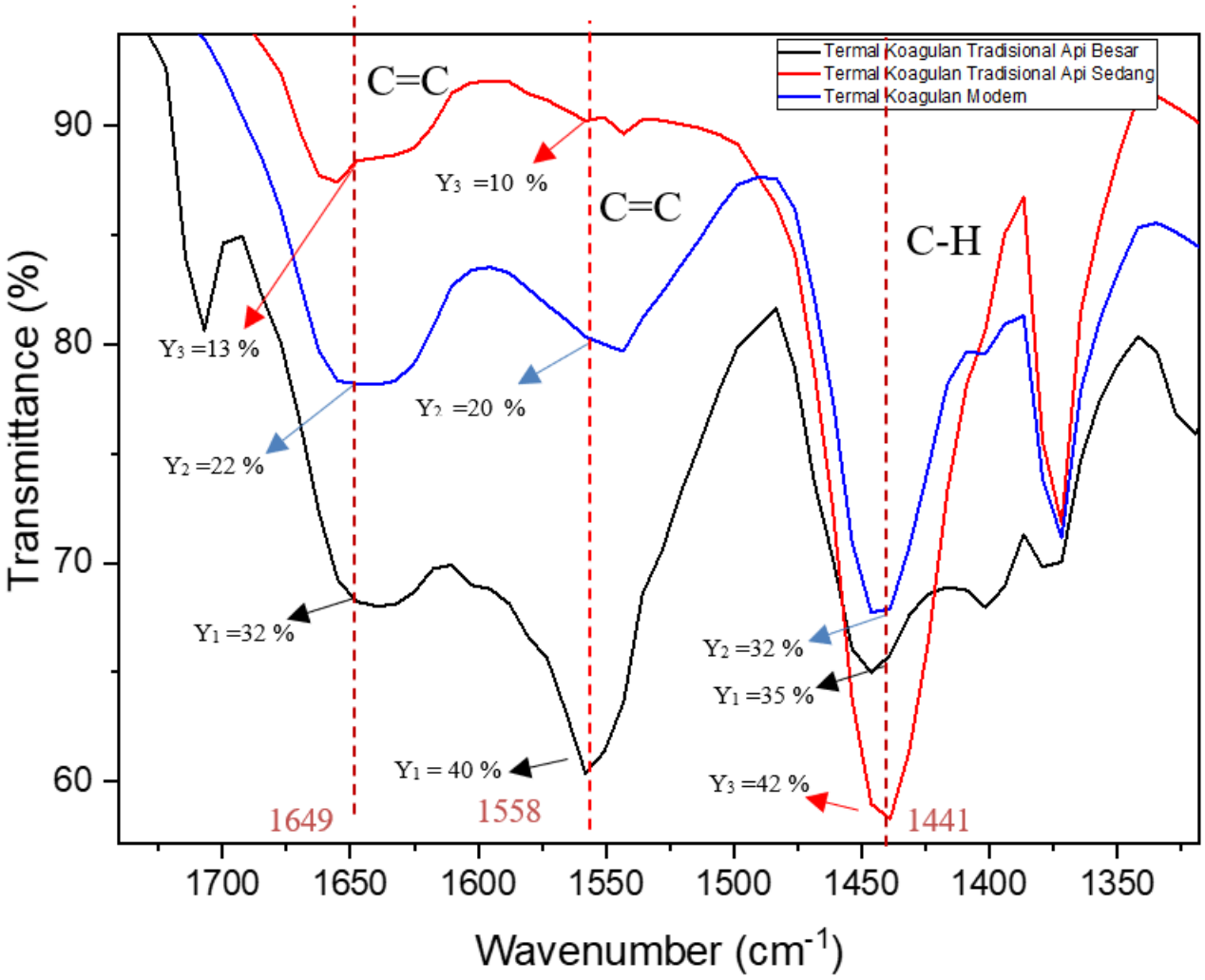
GAMBAR 6. Spektrum FTIR pada rentang bilangan gelombang 2820-3000 cm^{-1}.

22%. Dilanjutkan dengan termal koagulan modern dengan tinggi puncak 12%, dan termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 5%. Perbedaan tinggi *transmittance* pada masing-masing termal koagulan disebabkan oleh perbedaan temperatur dan laju panas yang digunakan pada penelitian ini. Perbedaan ini juga dipangaruhi karena temperatur termal koagulan tradisional tidak terkontrol (tidak dapat dikendalikan), sedangkan temperatur temal koagulan modern terkontrol (konstan). Hasil analisis FTIR pada bilangan gelombang 3277 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 5.

Berdasarkan analisis FTIR pada bilangan gelombang 3277 cm^{-1} ini, terdapat vibrasi dari poliisoprena menjadi 1,2-isoprena seperti pada Gambar 6.a. Menurut penelitian (Chen dkk. 2013) pada unit 1,2-isoprena ikatan rangkap karbon berada pada rantai bercabang dan termasuk pengganti asimeteri, sehingga struktur gugus fungsi C–H dari ikatan rangkap karbon tervibrasi *stretching*. Hal ini disebabkan adanya pergeseran momen dipol yang lebih besar. Pada penelitian ini terdapat vibrasi yang sama yaitu peregangan pada gugus fungsi C-H di ikatan C=C 1,2- Isoprena.

Berdasarkan Gambar 6 terdapat 3 puncak spektrum FTIR termal koagulan yaitu pada bilangan gelombang 2960 cm^{-1}, 2915 cm^{-1} dan 2848 cm^{-1}. Persen *transmittance* yang tertinggi pada bilangan gelombang 2960 cm^{-1} ini adalah termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 34%. Dilanjutkan dengan termal koagulan modern dengan tinggi puncak 28%, dan termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 24%. Pada bilangan gelombang 2915 cm^{-1} termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 35%, termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 33% dan termal koagulan modern dengan tinggi puncak 30%. Pada bilangan gelombang 2848 cm^{-1} termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 30%, termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 27% dan termal koagulan modern dengan tinggi puncak 26%. Perbedaan tinggi *transmittance* pada masing-masing termal koagulan disebabkan perbedaan temperatur dan laju panas yang digunakan pada penelitian ini. Semakin tinggin puncak *transmittance* FTIR, maka gugus fungsi yang terurai akan semakin banyak (Agrebi dkk. 2019).

Hasil analisis FTIR pada bilangan gelombang 2820–3000 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 6 Puncak *transmittance* pada bilangan gelombang 2960 cm^{-1} dan 2915 cm^{-1} merujuk kepada gugus fungsi C-H alkana (Adi Suhardjo dkk. 2011). Munculnya puncak *transmittance* pada bilangan gelombang 2848 cm^{-1} merupakan gugus aldehida (C-H) (Kamil dkk. 2012). Dengan menganalisis peregangan ikatan pada bilangan gelombang 2820-3000 cm^{-1}, vibrasi gugus metilena yag ada pada masing-masing bilangan gelombang 2960 cm^{-1}, 2915 cm^{-1} dan 2848 cm^{-1} membentuk ulur asimetris (V_{as} CH) dan ulur



GAMBAR 7. Spektrum FTIR pada rentang bilangan gelombang 1300-1750 cm^{-1}.

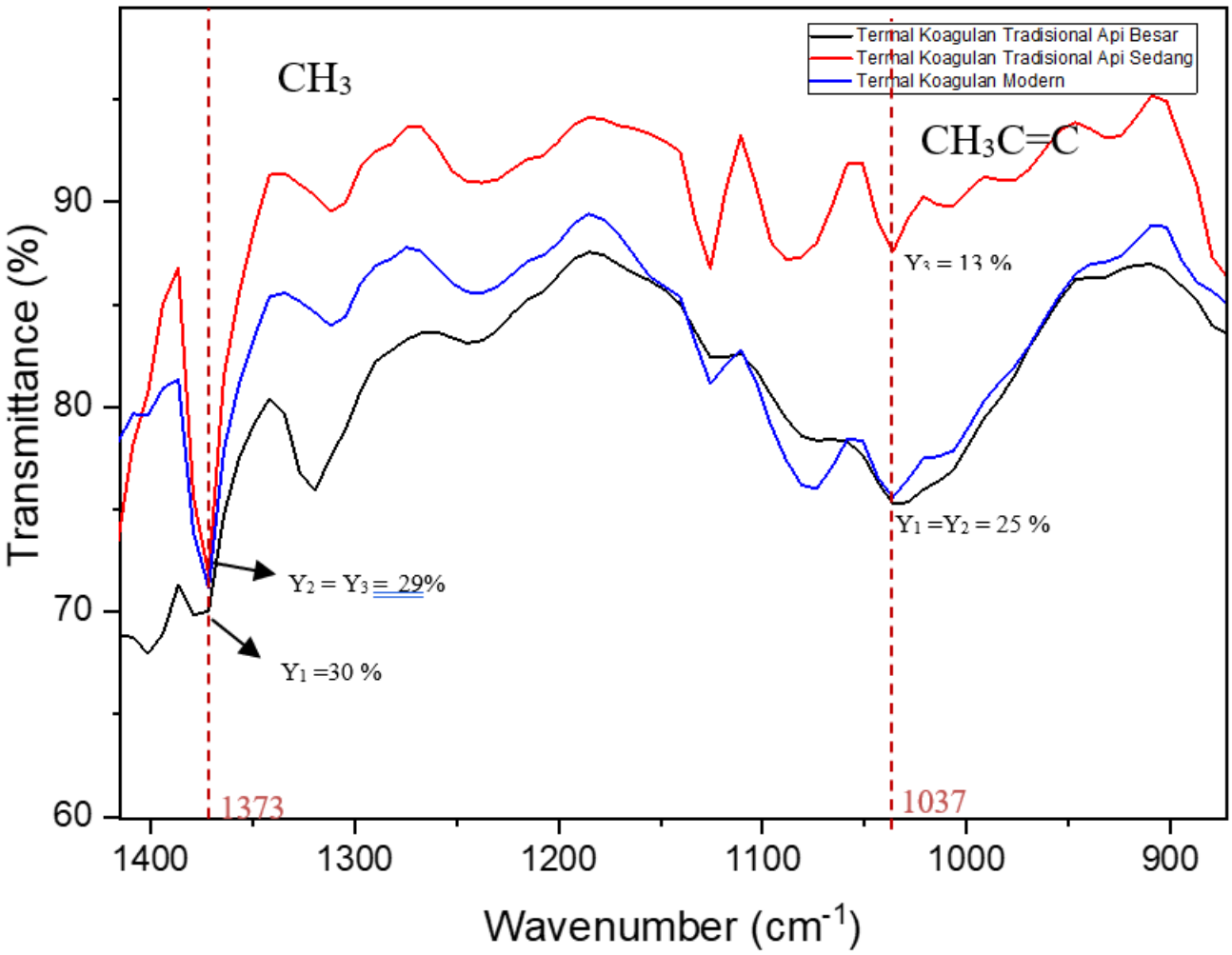
simetris (V_s CH) yang kuat. Hal ini sesuai dengan penelitian (Arroyo dkk. 2003) terdapat dua gugus fungsi yang berbeda, gugus fungsi pertama dihasilkan dari peregangan asimetris di mana dua ikatan C-H gugus metil memanjang. Sedangkan gugus fungsi kedua muncul dari peregangan simetris di mana ketiganya ikatan C-H memanjang dan peregangan secara bertahap. Pada penelitian ini juga mengalami vibrasi gugus metil yang terbentuk dari ulur asimetris (V_{as} CH) dan ulur simetris (V_s CH_2) yang kuat.

3.2 Hasil uji FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} - 1750 cm^{-1}

Berdasarkan Gambar 7 terdapat 3 puncak spektrum FTIR termal koagulan yaitu pada bilangan gelombang 1649 cm^{-1}, 1558 cm^{-1} dan 1441 cm^{-1}. Persen *transmittance* yang tertinggi pada bilangan gelombang 1649 cm^{-1} ini adalah termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 32%. Dilanjutkan dengan termal koagulan modern dengan tinggi puncak 22%, dan termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 13%. Pada bilangan gelombang 1558 cm^{-1} termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 40%, termal koagulan modern dengan tinggi puncak 20% dan termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 10%. Pada bilangan gelombang 1441 cm^{-1} termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 42%, termal koagulan tradisional api besar dengan puncak 35% dan termal koagulan modern dengan puncak 32%. Perbedaan tinggi *transmittance* pada masing-masing termal koagulan disebabkan oleh perbedaan temperatur dan laju panas yang digunakan pada penelitian ini. Semakin tinggi puncak *transmittance* FTIR, maka gugus fungsi yang terurai akan semakin banyak (Agrebi dkk. 2019).

Hasil analisis FTIR pada bilangan gelombang 1300-1750 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 7. Pada bilangan gelombang 1649 cm^{-1} dan 1558 cm^{-1} merujuk pada gugus C=C hasil dari vibrasi ulur dari 3,4- atau 1,2- isoprene (Chen dkk. 2013). Sementara puncak *tran smittance* pada bilangan gelombang 1441 cm^{-1} merupakan gugus fungsi C-H dari pembengkokan -CH_3 (Gunasekaran dkk. 2007). Pada bilangan gelombang 1650 cm^{-1} dan 1559 cm^{-1} terdapat vibrasi regang atom C=C yang bergerak sepanjang ikatan sehingga terjadi perubahan jarak dengan gugus fungsi lainnya, dan pada bilangan gelombang 1441 cm^{-1} terdapat vibrasi bengkokan(*rocking*) untuk memutuskan gugus C-H dari -CH_3.

Termal koagulan tradisional api sedang mempunyai puncak tertinggi pada bilangan gelombang 1441 cm^{-1} sedangkan terendah pada bilangan gelombang 1649 dan 1558 cm^{-1}. Puncak tertinggi di 1441 cm^{-1} menunjukkan stabilitas gugus hidrokarbon dalam karet, sementara puncak terendah di 1649 cm^{-1} dan 1558 cm^{-1} mencerminkan dekomposisi atau modifikasi gugus karbonil, amida, atau karboksilat akibat pemanasan dengan api sedang. Hal ini dapat dijelaskan bahwa



GAMBAR 8. Spektrum FTIR pada rentang bilangan gelombang 900-1400 cm^{-1}.

proses pemanasan dengan api sedang tidak cukup untuk memutus atau merusak gugus ini secara signifikan. Struktur karet alam (cis-1,4-poliisoprena) memiliki rantai karbon yang mendominasi. Karena itu, vibrasi hidrokarbon menghasilkan sinyal kuat di spektrum IR. Penurunan intensitas pada bilangan gelombang 1649 dan 1558 cm^{-1} menunjukkan penguraian gugus karboksilat dengan pemansaan api sedang menyebabkan pelepasan atau modifikasi gugus ini. Pengurangan interaksi hidrogen dengan pemanasan melemahkan ikatan hidrogen antar molekul, yang mengurangi intensitas puncak ini.

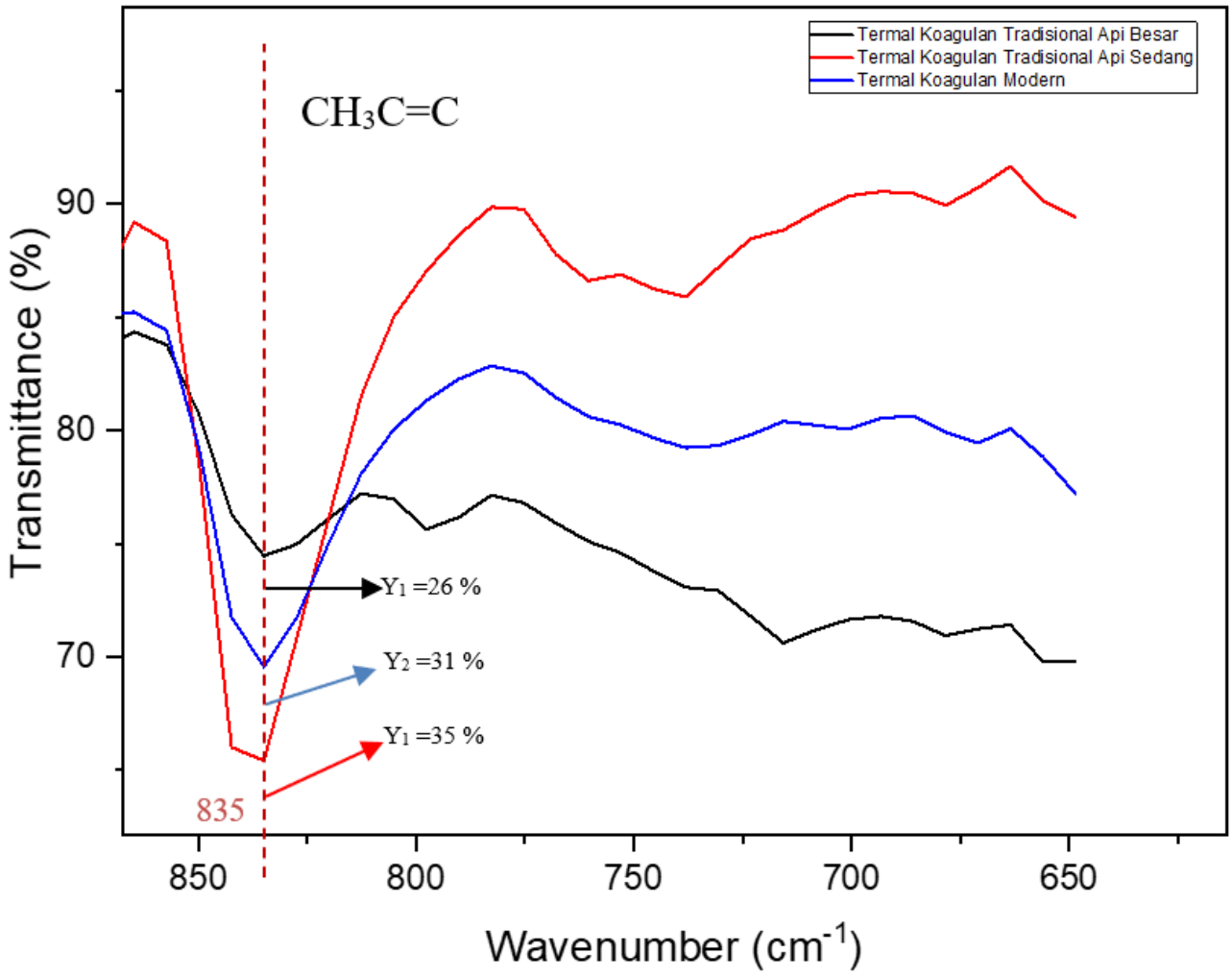
3.3 Hasil uji FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 900 cm^{-1}-1400 cm^{-1}

Hasil uji FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 900 cm^{-1} - 1400 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 terdapat 2 puncak spektrum FTIR termal koagulan yaitu pada bilangan gelombang 1373 cm^{-1}, dan 1037 cm^{-1}. Persen *transmittance* yang tertinggi pada bilangan gelombang 1373 cm^{-1} ini adalah termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 30%, termal koagulan modern dan termal koagulan tradisional api sedang memiliki tinggi puncak yang sama yaitu 29%. Pada bilangan gelombang 1037 cm^{-1} termal koagulan tradisional api besar dan termal koagulan modern memiliki tinggi puncak yang sama yaitu 25% , dan termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 13%. Perbedaan tinggi *transmittance* pada masing-masing termal koagulan disebabkan oleh perbedaan temperatur dan laju panas yang digunakan pada penelitian ini. Semakin tinggin puncak *transmittance* FTIR, maka gugus fungsi yang terurai akan semakin banyak (Agrebi dkk. 2019).

Hasil analisis FTIR pada bilangan gelombang 900-1400 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 8. Menurut penelitian Andriani dkk. (2018), mengenai hidrogenasi katalitik lateks karet alam terdapat tekukkan -CH_3 simetri pada bilangan gelombang 1373 cm^{-1} dan adanya vibrasi kibasan (*wagging*) pada bilangan gelombang 1037 cm^{-1} yang membuat unit struktur CH_3C=C bergerak mengibas keluar dari bidang datar isoprena. Hal ini juga sesuai dengan penelitian ini dan pada penelitian (Chen dkk. 2013) bahwa terdapat vibrasi pada bilangan gelombang 1373 cm^{-1} ini secara *Scissoring* (guntingan) unit -CH_3 pada struktur isoprena *cis*-1,4, -3,4 isoprena dan 1,2 isoprena. Vibrasi ini bergerak mengayun simetri dan masih dalam bidang datar isoprena. Sedangkan pada bilangan gelombang 1037 cm^{-1} terdapat vibrasi peregangan atau goyangan dari CH_3C=C dalam *cis*-1,4- isoprena.

3.4 Hasil uji FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 650 cm^{-1} - 875 cm^{-1}

Hasil uji FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 650 cm^{-1} - 875 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar 9 puncak spektrum FTIR termal koagulan yaitu



GAMBAR 9. Spektrum FTIR pada rentang bilangan gelombang 650-875 cm^{-1}.

pada bilangan gelombang 835 cm^{-1}. Persen *transmittance* yang tertinggi pada bilangan gelombang 835 cm^{-1} ini adalah termal koagulan tradisional api sedang dengan tinggi puncak 35%, termal koagulam modern dengan tinggi puncak 31%, dan termal koagulan tradisional api besar dengan tinggi puncak 26 %. Perbedaan tinggi *transmittance* pada masing-masing termal koagulan disebabkan oleh perbedaan temperatur dan laju panas yang digunakan pada penelitian ini. Temperatur yang digunakan pada termal koagulan tradisional api sedang sekitar 60-100°C, termal koagulan api besar sekitar 110-150°C, dan termal koagulan modern pada temperatur 145°C. Perbedaan ini juga dipangaruhi karena temperatur termal koagulan tradisional tidak terkontrol (tidak dapat dikendalikan), sedangkan temperatur temal koagulan modern terkontrol (konstan).

Hasil analisis FTIR pada bilangan gelombang 650-875 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 9. Menurut penelitian Puspitasari dkk. (2015) modifikasi karet alam pada koagulan kimia dan termal koagulan, spektrum FTIR tersebut harus memiliki puncak pada bilangan gelombang yang menggambarkan rantai isoprena yaitu pada bilangan gelombang 835 cm^{-1}, pada bilangan gelombang ini terdapat gugus fungsi =C-H. Pada penelitian ini juga terdapat vibrasi regangan dari $CH_3C=C$ dalam *cis* 1,4 isoprena.

3.5 Hasil vibrasi termal koagulan pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} - 1750 cm^{-1}

Hasil Analisis FTIR termal koagulan pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} - 1750 cm^{-1} ditunjukkan pada Tabel 7.

3.6 Analisis ekonomi termal koagulan tradisional dan modern

Termal koagulan tradisional jauh lebih hemat biaya daripada termal koagulan modern, hal ini dikarenakan termal koagulan tradisional menggunakan kayu bakar untuk menggumpalkan lateks yang dimana kayu bakar dapat secara mudah dicari masyarakat petani karet di sekitar kebun karet tersebut. Harga kayu bakar per/kg di Lampung Selatan adalah Rp 650 per/kg. Sedangkan termal koagulan modern menggunakan tenaga listrik untuk menggumpalkan lateks melalui oven laboratorium, sehingga harga termal koagulan modern lebih mahal dan sangat berpengaruh dengan lamanya waktu proses penggumpalan lateks. Harga listrik yang dikeluarkan PLN pada Lampung Selatan sesuai dengan tegangan oven yang digunakan pada penelitian ini adalah Rp 1.352 per kWh.Berikut merupakan perbedaan ekonomi pada termal koagulan tradisional dan termal koagulan modern yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7 diatas didapatkan biaya pengeluaran pada pengeringan secara tradisional dan modern. Pada

TABEL 6. Identifikasi gugus fungsi berdasarkan spektrum FTIR hasil koagulasi.

Termal Koagualan Tradisional		Termal Koagulan Modern	Attribution	Reference
Api Besar	Api Sedang	Oven		
3282,62	3282,6	3275,42	C-H alkuna, –C–H vibrasi stretching dari ikatan rangkap karbon-karbon di 1,2-unit	(Rolere dkk. 2015; Chen dkk. 2013)
2915,13	2915,53	2,915,653	C-H, Vibrasi Stretching asimetris alfatik terbentuk dari alkil symmet	(Chen dkk. 2013; Gunasekaran dkk. 2007; Kamil dkk. 2012)
2847,62	2847,62	2847,62	Simetris –CH2–	(Rolere dkk. 2015)
1642,2	1654,52	1649,71	C = C stretching vibrasi dari unit 1,4 atau 1,2, menunjukkan adanya gugus asam karboksilat	(Chen dkk. 2013; Cifriadi dkk. 2011)
1444,42	1437,36	1443,55	Vibrasi lentur C–H in kelompok =CH2 dari 3,4- atau 1,2-unit, (Vibrasi tekuk metilen), d eCH2e þ r eCH3	(Puspitasari dkk. 2015; Chen dkk. 2013; Narathichat dkk. 2010; Rolere dkk. 2015)
1316,79	1313,09	1304,96	Getaran gunting CH3 atau CH dalam cis-1,4-unit	(Chen dkk. 2013; Adi Suhardjo dkk. 2011)
1035,16	1027,77	1035,16	r eCH3, Ulur atau wagging CH3C=C, Getaran peregangan atau goyangan dari CH3C=C dalam cis-1,4-unit	(Chen dkk. 2013; Rolere dkk. 2015; Andriani dkk. 2018)
838,11	838,11	838,11	C-C Alkana Arimatik, Getaran tekukan di luar bidang dari C–H dalam gugus –CH=CH– dari cis-1,4-unit	(Chen dkk. 2013; Adi Suhardjo dkk. 2011)
715,78	737,77	735,71	ikatan –(CH2)n -	(Andriani dkk. 2018)

termal koagulan tradisional, analisis ekonomi api sedang didapatkan sebesar Rp218,400. Pada api besar disapatkan biaya analisis ekonomi sebesar Rp385,450. Sedangkan pada termal koagulan modern didapatkan analisis biaya subsea Rp5.678,400.

Berdasarkan tabel di atas biaya pengeluaran termal koagulan tradisional lebih murah di bandingkan termal koagulan modern, hal ini dikarenakan faktor media pemanas yang digunakan, dimana termal koagulan tradisional menggunakan kayu bakar yang dapat dijumpai para petani di sekitar perkebunannya, sedangkan termal koagulan modern menggunakan media pemanas listrik yang membutuhkan tempat dan waktu yang lama untuk menggumpalkan lateks. Harga kayu bakar jauh lebih murah dibandingkan dengan harga listrik (Adi Suhardjo dkk. 2011). Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan harga termal koagulan tradisional jauh berbeda dengan harga termal koagulan modern.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa termal koagulan tradisional dan modern dapat menggumpalkan lateks. Dilihat dari segi waktu termal koagulan secara modern dengan menggunakan oven lebih lama dibandingkan dengan termal koagulan secara tradisional. Dalam segi evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa termal koagulan tradisional lebih mudah dibandingkan dengan termal koagulan modern.

Terdapat vibrasi dari poliisoprena menjadi 1,2- isoprena pada bilangan gelombang 3277 cm^{-1} dimana pada unit 1,2-isoprena sehingga struktur gugus fungsi C–H dari ikatan rangkap karbon tervibrasi stretching. Pada bilangan gelombang 2848 cm^{-1} merupakan gugus aldehida (C-H), terjadi vibrasi gugus metilena membentuk ulur asimetris (Vas CH) dan ulur simetris (Vs CH) yang kuat.

Gugus C=C hasil dari vibrasi ulur dari 3,4- atau 1,2- isoprene terdapat pada bilangan gelombang 1649 cm^{-1} dan 1558 cm^{-1}. Pada bilangan gelombang 1441 cm^{-1} merupakan gugus fungsi C-H dari pembengkokan -CH_3. Pada bilangan gelombang 1650 cm^{-1} dan 1559 cm^{-1} terdapat vibrasi regang atom C=C yang bergerak sepanjang ikatan sehingga terjadi perubahan jarak dengan gugus fungsi lainnya, dan pada bilangan gelombang 1441 cm -1 terdapat vibrasi bengkokan (*rocking*) untuk memutuskan gugus C-H dari -CH_3.

Pada bilangan gelombang 1373 cm^{-1} terdapat tekukkan -CH_3 simetri dan adanya vibrasi kibasan (wagging) pada bilangan gelombang 1037 cm^{-1} yang membuat unit struktur CH_3C=C bergerak mengibas keluar dari bidang datar isoprene. Terdapat vibrasi pada bilangan gelombang 1373 cm^{-1} ini secara Scissoring (guntingan) unit -CH_3 pada struktur isoprena cis-1,4, -3,4 isoprena dan 1,2 isoprena. Pada bilangan gelombang 1037 cm^{-1} terdapat vibrasi peregangan atau goyangan dari CH3C=C dalam cis-1,4- isoprena. Pada bilangan gelombang 835 cm^{-1} menggambarkan rantai isoprena, bilangan gelombang ini terdapat gugus fungsi =C-H. Terdapat juga vibrasi regangan dari CH_3C=C dalam cis 1,4 isoprena.

Diperoleh hasil uji FTIR pada termal koagulan tradisional pada api besar dan sedang serta termal koagulan modern pada oven mucul puncak puncak yang menunjukkan gugus

TABEL 7. Analisis perbandingan biaya koagulasi tradisional dan modern pada lateks.

No	Termal Koagulan	Kategori Panas	Kebutuhan kayu bakar (kg)	Kebutuhan listrik (kWh)	Harga (Rp)
1	Tradisional	Api sedang	0,336	-	Rp218,400
		Api Besar	0,593	-	Rp385,450
2	Modern	Oven Laboratorium	-	4,200	Rp5.678,400

fungsi khas dari karet yaitu adanya ikatan karbon C-H, C=C dan C-C yang memiliki kesamaan dengan struktur hidrokarbon pembentuk minyak bumi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak Institut Teknologi Sumatera (ITERA) yang telah memberikan bahan baku dan oven sebagai alat dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad F, Deviany D. 2022. The effect of averrhoa bilimbi extract as natural coagulants on the characteristics of rubber. Konversi. 11(1):44–51. doi:10.20527/k.v11i1.12841.

Adi Suhardjo K, Basuki A, Srasno, Randy A, Sondari D. 2011. Modifikasi karet alam menjadi bahan elastomer termoplastik. Jurnal Riset Industri. V(3):283–292. https://lib.ui.ac.id/detail?id=20439103&lokasi=lokal.

Agrebi F, Ghorbel N, Bresson S, Abbas O, Kallel A. 2019. Study of nanocomposites based on cellulose nanoparticles and natural rubber latex by ATR/FTIR spectroscopy: The impact of reinforcement. Polymer Composites. 40(5):2076–2087. doi:10.1002/pc.24989.

Andriani W, Puspitasari S, Wydiantoro ANZ, Muslich M. 2018. Evaluasi jenis bahan penstabil dan koagulan lateks pada sistem reaksi hidrogenasi katalitik lateks karet alam skala semi pilot. Jurnal Penelitian Karet. 36(1):89–100. doi:10.22302/ppk.jpk.v36i1.559.

Arroyo M, López-Manchado MA, Herrero B. 2003. Organo-montmorillonite as substitute of carbon black in natural rubber compounds. Polymer. 44(8):2447–2453. doi:10.1016/S0032-3861(03)00090-9.

Astrid D, Febrianti I, Mulyasari R, Hidayat AS, Hidayat AT, Rachman SD, Maksum IP, Rahayu I, Soedjanaatmadja UMS. 2014. Proses deproteinisasi karet alam (DPNR) dari lateks hevea brasiliensis muell arg. Dengan cara enzimatik. Chimica et Natura Acta. 2(2):105–114. doi:10.24198/cna.v2.n2.9152.

Budiman A. 1996. Penanggulangan gejala kering alur sadap pada beberapa klon karet anjuran. Warta Pusat Penelitian Karet. 15(3):176–183.

Chen D, Shao H, Yao W, Huang B. 2013. Fourier transform infrared spectral analysis of polyisoprene of a different microstructure. International Journal of Polymer Science. 4(10):1–5. doi:10.1155/2013/937284.

Cholifah S. 2016. Penggunaan metode FTIR (fourier transform infra red) untuk studi analisis gugus fungsi sampel minyak goreng dengan perlakuan variasi pemanasan. Jurnal FMIPA UNDIP. 2(1):1–5. http://eprints.undip.ac.id/3031/.

Cifriadi A, Budianto E, Alfa AA. 2011. Karakterisasi karet siklo berbasis lateks karet alam berbobot molekul rendah. Jurnal Penelitin Karet. 29(1):35–48. https://ejournal.puslitkaret.co.id/index.php/jpk/article/view/110.

Dalimunthe R, Anwar A, Anas A. 1996. Pengaruh campuran asam mineral terhadap mutu karet. Jurnal Penelitian Pertanian. 15(1):47–60.

Eddiyanto E, Nababan A, Sinaga A. 2022. Modification of natural rubber sir-20 with cyclisation and grafting methods with maleic anhydride. Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST). 5(2):67. doi:10.24114/ijcst.v5i2.37450.

Gunasekaran S, Natarajan R, Kala A. 2007. FTIR spectra and mechanical strength analysis of some selected rubber derivatives. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 68(2):323–330. doi:10.1016/j.saa.2006.11.039.

Hasan A, Dewi E, Purnamasari I, Irawan D, Yoga P. 2019. Sifat fisik vulkanisat karet dengan bahan pengisi variasi tanah liat di berbagai lapisan area tambang pt. Bukit asam (persero) tbk. Jurnal Kinetika. 10(01):31–37. https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/2986.

Kamil E, Khoesoema E, Harahap H. 2012. Pengaruh biodegradasi dengan teknik penaman terhadap produk lateks karet alam berpengsi tepung kulit pisang yang diputihkan dengan hidrogen peroksida. Jurnal Teknik Kimia USU. 1(2):11–15. doi:http://dx.doi.org/10.32734/jtk.v1i2.1411.

Mirwan A, Rahmat Wicakso D. 2005. Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar alternatif untuk pengeroingan karet remah pada industri karet. Jurnal Info-Teknik. 12(2):1–12. https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/infoteknik/article/viewFile/1661/1434.

Narathichat M, Sahakaro K, Nakason C. 2010. Assessment degradation of natural rubber by moving die processability test and FTIR spectroscopy. Journal of Applied Polymer Science. 115(3):1702–1709. doi:10.1002/app.31194.

Nurfitriyana N, Najma Annuria Fithri, Fitria, Rini Yanuarti. 2022. Analisis interaksi kimia fourier transform infrared (ftir) tablet gastrorentif ekstrak daun petai (parkia speciosa hassk) dengan polimer hpmc-k4m dan kitosan. ISTA Online Technologi Journal. 3(2):27–33. doi:10.62702/ion.v3i2.69.

Prastanto H, Firdaus Y, Puspitasari S, Ramadhan A, Falaah AF. 2018. Sifat fisika aspal modifikasi karet alam pada berbagai jenis dan dosis lateks karet alam. Jurnal Penelitian Karet. 36(1):65–76. doi:10.22302/ppk.jpk.v36i1.444.

Pusari D, Haryanti S. 2014. Pemanenan getah karet (hevea brasiliensis muell.arg) dan penentuan kadar karet kering (KKK) dengan variasi temperatur pengovenan di pt. Djambi waras jujuhan Kabupaten Bungo, Jambi. Jurnal Anatomi Fisiologi. 12(2):64–74. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/janafis/article/view/7819.

Puspitasari S, Budianto E, Maspanger DR. 2015. Kajian modifikasi kimia secara kopolimerisasi cangkok pada pembuatan karet alam termoplastik. Warta Perkaretan. 34(1):65. doi:10.22302/ppk.wp.v34i1.64.

Rahardiansyah H, Taruna I, Soekarno S. 2014. Kajian pengeringan lateks dengan unit pengeringan bertenaga listrik pada pengolahan karet (heven brassiliensis). Jurnal Agroteknologi. 08(2):179–184. https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JAGT/article/view/3095/0.

Rahman Hakim A, Citra, Daviya Nur Fauzi M. 2019. Industri pengolahan karet di indonesia. [Doctoral thesis]. [Padang]: .

Rolere S, Liengprayoon S, Vaysse L, Sainte-Beuve J, Bonfils F. 2015. Investigating natural rubber composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy: A rapid and non-destructive method to determine both protein and lipid contents simultaneously. Polymer Testing. 43(2):83–93. doi:10.1016/j.polymertesting.2015.02.011.

Sasmita RN. 2016. Pengeringan lembaran karet (SHEET) de-

ngan cara penjemuran, pengeringan rumah kaca, dan pengasapan. [Doctoral thesis]. [Bandar Lampung]: .

Suwardin D, Purbaya M, Vachlepi A. 2016. Audit energi dalam pengolahan karet. Warta Perkaretan. 35(2):167. doi:10.22302/ppk.wp.v35i2.98.

Vachlepi A, Suwardin D. 2013. Penggunaan biobriket sebagai bahan bakar alternatif dalam pengeringan karet alam. Warta Perkaretan. 32(2):65. doi:10.22302/ppk.wp.v32i2.38.