

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Pada Bab 4 ini, dijelaskan tentang bagaimana sifat hidrofobisitas dari setiap sampel polimer dianalisis. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat penetes air menggunakan pipet tetes, di mana sudut kontak diukur setelah air ditetaskan di atas sampel. Sudut kontak kemudian digambarkan menggunakan aplikasi ImageJ. Selain itu, bab ini juga menggambarkan bentuk setiap sampel setelah pengujian *surface tracking* selama 3 jam. Pengujian dilakukan dengan menggunakan elektroda atas dan bawah yang miring 45° sesuai standar IEC 60587, dengan tegangan AC sebesar 4,5 kV dan aliran air sebesar 0,60 ml/menit. Pengukuran arus bocor pada setiap sampel polimer juga dilakukan, di mana data diambil setiap 10 menit seiring dengan pengujian *surface tracking*. Hasil pengukuran arus bocor kemudian diolah menggunakan persamaan hukum Ohm.

4.2. Sifat Hidrofobisitas Polimer Karet Alam

Sifat hidrofobisitas pada bahan bionanokomposit telah diuji menggunakan sampel LLDPE + karet alamyang ditambahkan dengan nanoalumina. Tiga jenis sampel dengan nanoalumina telah diujikan menggunakan tiga variasi konsentrasi pengisi yang berbeda, yang disebut sebagai A0, A1, dan A2. Sampel A0 memiliki komposisi di mana tidak ada tambahan nanoalumina, sedangkan sampel A1 memiliki tambahan nanoalumina sebanyak 1,5% dari total berat campuran LLDPE dan karet alam. Sedangkan sampel A2 memiliki tambahan nanoalumina sebanyak 6% dari total berat campuran LLDPE dan karet alam.

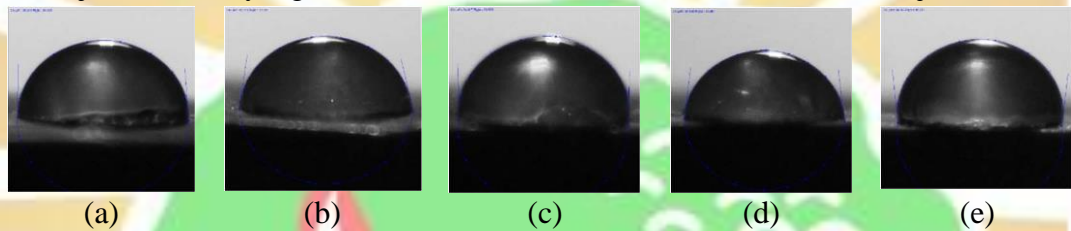
Untuk meneteskan air sebanyak 50 μ l, digunakan pipet tetes, sementara untuk pengambilan gambar, kamera DSLR 18 MP. Hasil gambar akan dianalisis dengan aplikasi ImageJ untuk mengukur sudut kontak.

4.2.1. Air Hujan dengan Polimer Karet Alam

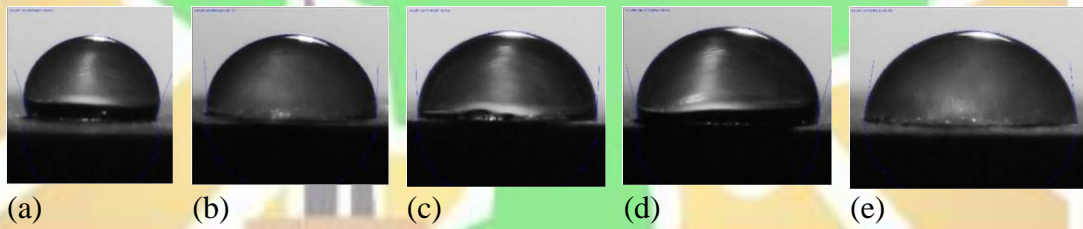
Gambar 4.1 memperlihatkan hasil pengujian tetesan air hujan pada permukaan sampel isolator A0. Percobaan dilakukan sebanyak lima kali, dengan meneteskan air hujan pada lima posisi berbeda untuk menilai konsistensi permukaan sampel. Pada pengujian pertama, sudut kontak tetesan air hujan diukur sebesar $90,94^\circ$ di sisi kiri dan $84,3^\circ$ di sisi kanan. Pada pengujian kedua, nilai sudut kontak di sisi kiri adalah $82,71^\circ$, sementara di sisi kanan sebesar $75,24^\circ$. Pengujian ketiga menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $94,01^\circ$ dan di sisi kanan $88,88^\circ$. Pada pengujian keempat, sudut kontak di sisi kiri adalah $84,53^\circ$ dan di sisi kanan $81,96^\circ$. Percobaan kelima menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $96,74^\circ$ dan di sisi kanan $95,71^\circ$.

Sementara itu, Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian tetesan air hujan pada permukaan sampel isolator A1. Percobaan ini juga dilakukan sebanyak lima kali dengan meneteskan air hujan pada lima posisi yang berbeda untuk menilai konsistensi permukaan sampel. Pada pengujian pertama, sudut kontak tetesan air hujan diukur sebesar $107,17^\circ$ di sisi kiri dan $108,56^\circ$ di sisi kanan. Pengujian kedua menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $95,69^\circ$ dan di sisi kanan $90,13^\circ$. Pada pengujian ketiga, sudut kontak di sisi kiri adalah $93,71^\circ$ dan di sisi kanan $92,19^\circ$.

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian tetesan air hujan pada permukaan sampel isolator A2. Pada pengujian pertama, sudut kontak tetesan air hujan di sisi kiri tercatat sebesar $100,25^\circ$ dan di sisi kanan $101,50^\circ$. Pengujian kedua menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $97,40^\circ$ dan di sisi kanan $95,80^\circ$. Pada pengujian ketiga, nilai sudut kontak di sisi kiri adalah $99,15^\circ$ dan di sisi kanan $98,60^\circ$. Pada pengujian keempat, sudut kontak di sisi kiri mencapai $102,00^\circ$ dan di sisi kanan $100,35^\circ$. Percobaan kelima menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $101,80^\circ$ dan di sisi kanan $99,90^\circ$. Data ini menunjukkan bahwa permukaan sampel isolator A2 juga menunjukkan hasil yang konsisten dalam hal sudut kontak tetesan air hujan.

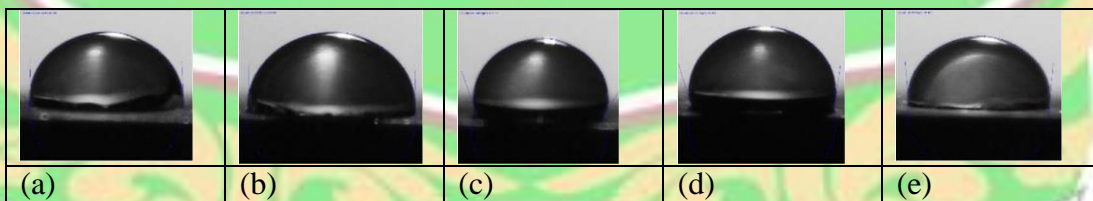


Gambar 4. 1 Sudut Kontak pada Permukaan polimer karet alam Sampel A0 menggunakan Air Hujan (a) Uji ke-1 (b) Uji ke-2 (c) Uji ke-3 (d) Uji ke-4 (e) Uji ke-5



Gambar 4. 2 Sudut Kontak pada Permukaan polimer karet alam Sampel A1 menggunakan Air Hujan (a) Uji ke-1 (b) Uji ke-2 (c) Uji ke-3 (d) Uji ke-4 (e) Uji ke-5

1. A2



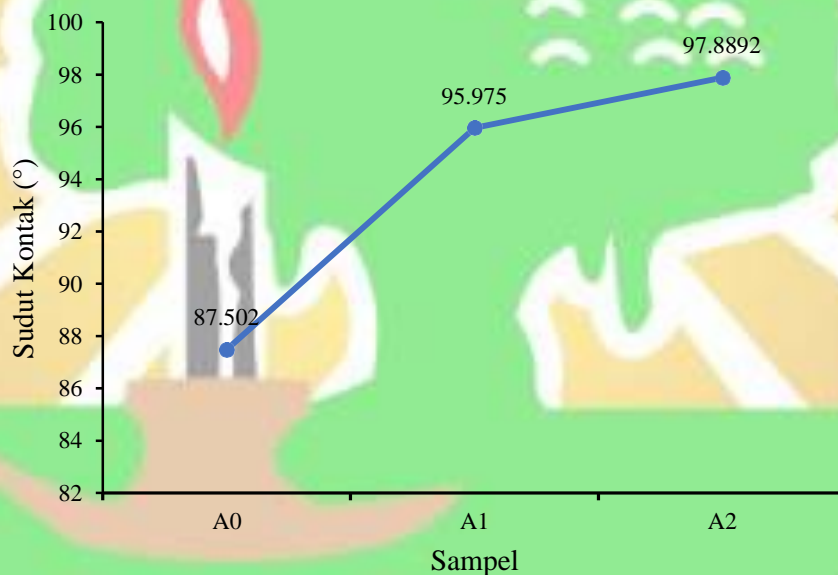
Gambar 4. 3 Sudut Kontak pada Permukaan polimer karet alam Sampel A2 menggunakan Air Hujan (a) Uji ke-1 (b) Uji ke-2 (c) Uji ke-3 (d) Uji ke-4 (e) Uji ke-5

Tabel 4.1 menunjukkan nilai sudut kontak tetesan air hujan pada permukaan ketiga sampel isolator. 5 kali pengujian dilaksanakan pada setiap sampel. Nilai rata-rata sudut kontak air hujan pada permukaan isolator A0, A1, dan A2 secara berturut-turut adalah 87,502°, 95,975°, dan 97,8892°, meskipun terjadi fluktuasi pada beberapa pengujian, hal ini mungkin disebabkan oleh ketidakrataan permukaan sampel di area tertentu, yang mengakibatkan hasil yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Ada hipotesis bahwa hal ini bisa disebabkan oleh proses pencetakan yang kurang sempurna, di mana pelat besi tidak sepenuhnya rapat sehingga udara terperangkap selama pencetakan, dan bobot sampel yang dimasukkan ke dalam cetakan mungkin kurang dari standar yang diharapkan, sehingga menghasilkan permukaan sampel yang tidak rata sesuai harapan.

Tabel 4. 1 Pengaruh Penambahan Persentase Berat Nanoalumina terhadap Sifat Hidrofobisitas Polimer Karet alampada Pengujian dengan Air Hujan

Kode Sampel	Konsentrasi Pengisi (%)	Sudut Kontak (°) Uji Ke-					Rata-Rata(°)
		1	2	3	4	5	
A0	0	87,62	78,975	91,445	83,245	96,225	87,502
A1	1,5	107,865	92,91	92,95	104,225	81,925	95,975
A2	6	87,86	88,651	115,345	102,34	95,25	97,8892

Gambar 4.4 memperlihatkan hubungan antara peningkatan persentase kandungan nanoalumina dalam sampel isolator dengan peningkatan sudut kontak air hujan pada sampel.



Gambar 4. 4 Pengaruh Penambahan Persentase Berat Nanoalumina terhadap Sifat Hidrofobisitas Polimer Karet alampada Pengujian dengan Air Hujan

Semakin tinggi persentase nanoalumina, semakin tinggi kemampuan lapisan isolator untuk menolak air dan polutan. Dari tiga sampel yang diuji, sampel A0 tidak dapat dikategorikan sebagai hidrofobik karena sudut kontaknya lebih kecil dari 90°, sedangkan sampel A1 dan A2 sudah tergolong hidrofobik karena sudut kontaknya

lebih besar dari 90° [18]. Untuk mencapai sifat hidrofobik pada sampel yang menggunakan nanoalumina, konsentrasi nanoalumina dalam campuran bahan sampel harus minimal 1,5%. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya juga menunjukkan peningkatan sudut kontak seiring dengan penambahan konsentrasi *filler* nanoalumina [3].

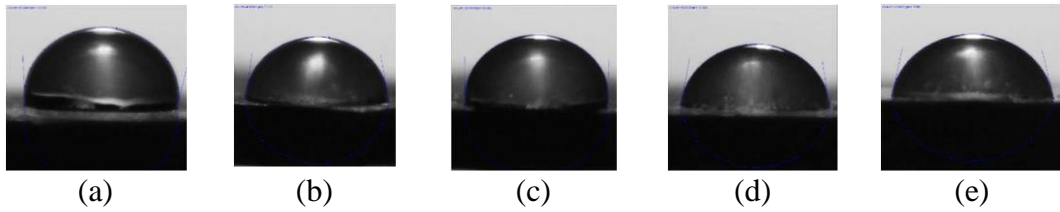
4.2.2. Akuades dan Polimer Karet Alam

Pada gambar 4.5, ditampilkan sudut kontak dari tetesan air akuades pada permukaan sampel isolator A0. Percobaan ini dilakukan dengan meneteskan air akuades di lima posisi berbeda pada sampel untuk menguji konsistensi permukaannya. Hasil pengujian menunjukkan variasi sudut kontak di setiap posisi. Pada pengujian pertama, sudut kontak di sisi kiri tercatat sebesar $94,37^\circ$, sementara di sisi kanan mencapai $102,36^\circ$. Pada pengujian kedua, sudut kontak di sisi kiri adalah $83,1^\circ$ dan di sisi kanan $79,12^\circ$. Pengujian ketiga menunjukkan sudut kontak sebesar $91,74^\circ$ di sisi kiri dan $91,56^\circ$ di sisi kanan. Pengujian keempat mencatat sudut kontak di sisi kiri sebesar $79,84^\circ$ dan di sisi kanan $79,42^\circ$. Terakhir, pada pengujian kelima, sudut kontak di sisi kiri adalah $78,38^\circ$ dan di sisi kanan $75,56^\circ$.

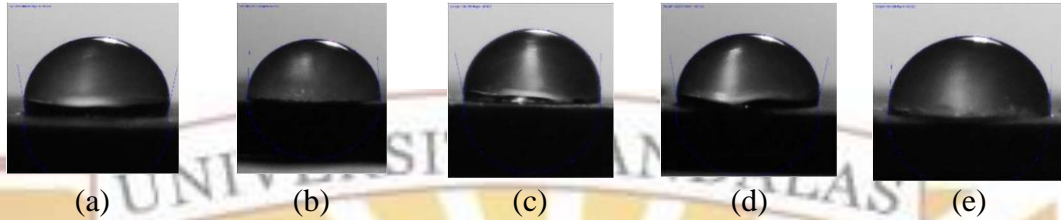
Sementara itu, gambar 4.6 menunjukkan sudut kontak dari tetesan air akuades pada permukaan sampel isolator A1. Dalam percobaan ini, air akuades diteteskan pada lima posisi berbeda pada sampel, dan dilakukan sebanyak lima kali untuk menilai konsistensi permukaan. Hasilnya menunjukkan variasi sudut kontak yang berbeda pada setiap pengujian. Pada pengujian pertama, sudut kontak di sisi kiri tercatat $100,15^\circ$, sedangkan di sisi kanan $100,61^\circ$. Pengujian kedua menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $89,9^\circ$ dan di sisi kanan $84,13^\circ$. Pada pengujian ketiga, sudut kontak di sisi kiri tercatat $101,8^\circ$ dan di sisi kanan $90,02^\circ$.

Gambar 4.7 menunjukkan sudut kontak dari tetesan air akuades pada permukaan sampel isolator A2. Percobaan ini dilakukan dengan meneteskan air akuades pada lima posisi berbeda di permukaan sampel untuk menguji konsistensinya. Hasil pengujian dari sampel ini memperlihatkan variasi sudut kontak di setiap posisi. Pada pengujian pertama, sudut kontak di sisi kiri tercatat sebesar $88,25^\circ$, sedangkan di sisi kanan mencapai $92,78^\circ$. Pengujian kedua menunjukkan sudut kontak di sisi kiri sebesar $86,43^\circ$ dan di sisi kanan $87,56^\circ$. Pada pengujian ketiga, sudut kontak di sisi kiri adalah $90,32^\circ$ dan di sisi kanan $91,45^\circ$. Pengujian keempat mencatat sudut kontak di sisi kiri sebesar $85,67^\circ$ dan di sisi kanan $84,92^\circ$. Terakhir, pada pengujian kelima, sudut kontak di sisi kiri tercatat $87,19^\circ$ dan di sisi kanan $89,34^\circ$.

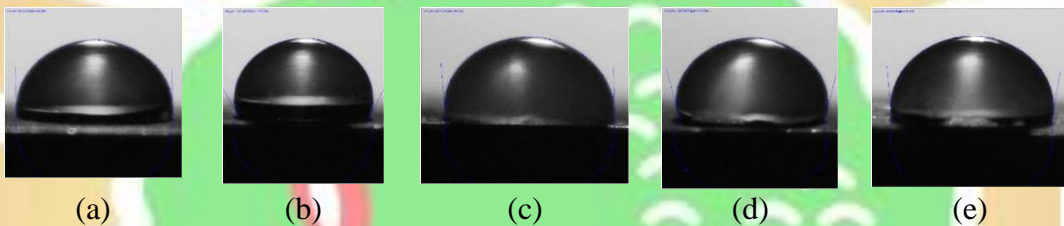
Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa permukaan sampel isolator A2 memiliki variasi sudut kontak yang cukup konsisten di seluruh posisi pengujian, dengan sudut kontak yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sampel A0 dan A1.



Gambar 4. 5 Sudut Kontak pada Permukaan polimer karet alam Sampel A0 menggunakan Akuades (a) Uji ke-1 (b) Uji ke-2 (c) Uji ke-3 (d) Uji ke-4 (e) Uji ke-5



Gambar 4. 6 Sudut Kontak pada Permukaan polimer karet alam Sampel A1 menggunakan Akuades (a) Uji ke-1 (b) Uji ke-2 (c) Uji ke-3 (d) Uji ke-4 (e) Uji ke-5



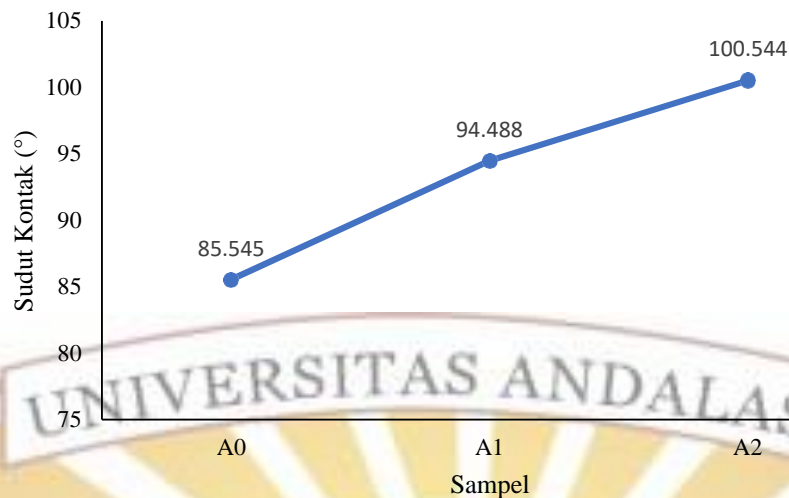
Gambar 4. 7 Sudut Kontak pada Permukaan polimer karet alam Sampel A2 menggunakan Akuades (a) Uji ke-1 (b) Uji ke-2 (c) Uji ke-3 (d) Uji ke-4 (e) Uji ke-5

Tabel 4.2 memperlihatkan nilai sudut kontak tetesan air akuades pada permukaan ketiga sampel isolator. Setiap sampel diuji sebanyak lima kali. Rata-rata sudut kontak air akuades pada permukaan isolator A0, A1, dan A2 adalah masing-masing 85,545°, 94,488°, dan 100,544°. Meskipun terdapat fluktuasi pada beberapa pengujian, hal ini mungkin disebabkan oleh ketidakrataan pada permukaan sampel di area tertentu, yang mengakibatkan hasil yang tidak konsisten dengan harapan. Salah satu hipotesis yang mungkin adalah ketidaksempurnaan dalam proses pencetakan, di mana pelat besi tidak sepenuhnya rapat sehingga menyebabkan terjebaknya udara selama pencetakan. Selain itu, bobot sampel yang dimasukkan ke dalam cetakan mungkin kurang dari standar yang diharapkan, yang dapat mengakibatkan permukaan sampel tidak rata seperti yang diinginkan.

Tabel 4. 2 Pengaruh Penambahan Persentase Berat Nanoalumina terhadap Sifat Hidrofobisitas Polimer Karet alampada Pengujian dengan Akuades

Kode Sampel	Konsentrasi Pengisi (%)	Sudut Kontak (°) Uji Ke-					Rata-Rata (°)
		1	2	3	4	5	
A0	0	98,365	81,11	91,65	79,63	76,97	85,545
A1	1,5	100,38	87,015	95,91	100,655	88,48	94,488
A2	6	90,345	119,05	91,96	104,155	97,21	100,544

Gambar 4.8 memperlihatkan hubungan antara peningkatan persentase kandungan nanoalumina dalam sampel isolator dengan peningkatan sudut kontak air akuades pada sampel.



Gambar 4.8 Pengaruh Penambahan Persentase Berat Nanoalumina terhadap Sifat Hidrofobisitas Polimer Karet alampada Pengujian dengan Akuades

Data mengenai arus bocor dicatat setiap 10 menit selama periode pengujian 3 jam untuk setiap sampel polimer. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase nanoalumina, semakin baik lapisan isolator dalam menolak air dan polutan yang menempel. Di antara tiga sampel yang diuji, sampel A0 tidak memenuhi kriteria sebagai hidrofobik karena sudut kontaknya kurang dari 90° . Sebaliknya, sampel A1 dan A2 telah memenuhi kriteria hidrofobik karena sudut kontaknya lebih dari 90° . [18]. Untuk mencapai sifat hidrofobik pada sampel yang menggunakan nanoalumina, konsentrasi nanoalumina dalam campuran harus minimal 1,5%. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa sudut kontak meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi filler nanoalumina [3].

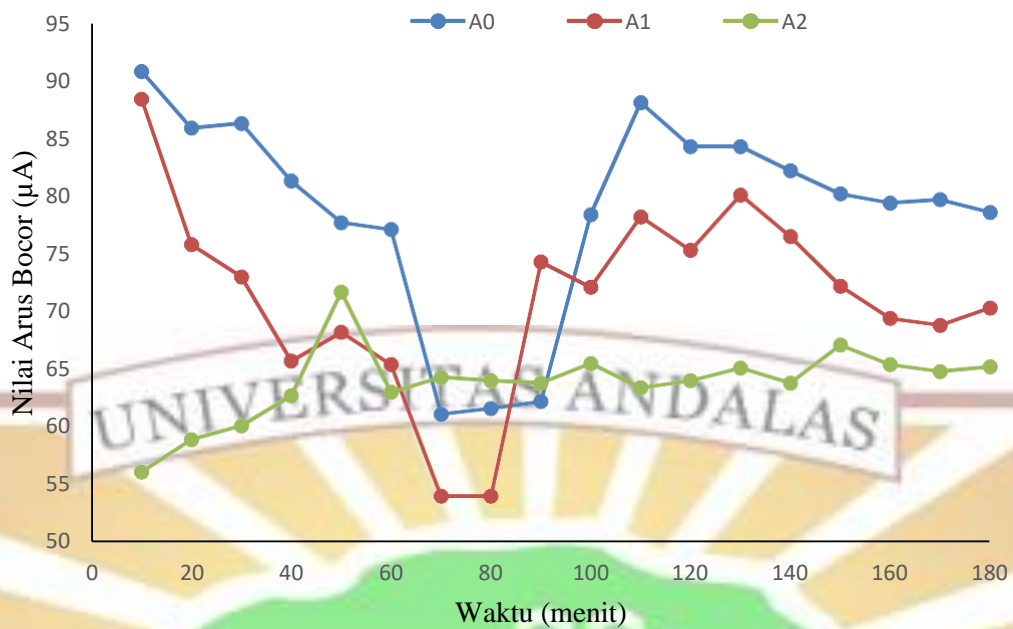
4.3. Karakteristik Arus Bocor

Selama periode pengujian 3 jam pada setiap sampel polimer, arus bocor diukur setiap 10 menit. Pengujian dilakukan pada sampel alumina dengan berbagai konsentrasi, yang dikodekan dari A0 hingga A2. Pengukuran ini menggunakan resistor $1\text{ K}\Omega$ yang terhubung dengan fase grounding, dan data arus bocor direkam setiap 10 menit sepanjang durasi pengujian.

Gambar 4.9 menunjukkan karakteristik arus bocor pada polimer karet alamm nanoalumina selama interval sepuluh menit dari pengujian 3 jam. Pola arus bocor pada sampel A0 menunjukkan fluktuasi yang cenderung stabil, dimulai dari $90,8\ \mu\text{A}$, menurun menjadi $61,6\ \mu\text{A}$ pada menit ke-80, kemudian meningkat kembali menjadi $88,1\ \mu\text{A}$ pada menit ke-100 sebelum akhirnya menurun ke $78,6\ \mu\text{A}$.

Untuk sampel A1, arus bocor awalnya tercatat pada $88,4\ \mu\text{A}$ dan menurun menjadi $54\ \mu\text{A}$ pada menit ke-80, lalu menunjukkan fluktuasi hingga mencapai $70,3$

μA pada menit ke-180. Sampel A2 menunjukkan fluktuasi arus bocor dalam rentang 56,1 μA hingga 71,7 μA pada menit ke-50 dan turun kembali menjadi 65,2 μA .



Gambar 4. 9 Grafik Nilai Arus Bocor Sampel Nanoalumina Setiap 10 Menit pada Pengujian Selama 3 Jam

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Arus Bocor Setiap 10 Menit pada Pengujian Selama 3 Jam sampel Nanoalumina

Menit ke-	Nilai Arus Bocor pada Sampel (μA)		
	A0	A1	A2
10	90,8	88,4	56,1
20	85,9	75,8	58,9
30	86,3	73	60,1
40	81,3	65,7	62,7
50	77,7	68,2	71,7
60	77,1	65,4	63
70	61,1	54	64,3
80	61,6	54	64
90	62,2	74,3	63,8
100	78,4	72,1	65,5
110	88,1	78,2	63,4
120	84,3	75,3	64
130	84,3	80,1	65,1
140	82,2	76,5	63,8
150	80,2	72,2	67,1
160	79,4	69,4	65,4
170	79,7	68,8	64,8
180	78,6	70,3	65,2

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa arus bocor pada polimer karet alamyang mengandung nanoalumina cenderung berkurang seiring dengan peningkatan konsentrasi filler, meskipun ada beberapa fluktuasi pada titik-titik waktu tertentu. Fluktuasi ini kemungkinan disebabkan oleh ketidakrataan permukaan sampel di beberapa area tertentu, sehingga nilai yang diharapkan tidak selalu terlihat sepenuhnya. Hipotesis yang muncul adalah bahwa hal ini mungkin disebabkan oleh ketidaksempurnaan dalam proses pencetakan, di mana pelat besi tidak terpasang rapat sehingga udara terjebak selama proses pencetakan. Selain itu, bobot sampel yang dimasukkan ke dalam cetakan mungkin tidak memenuhi standar yang diharapkan, menyebabkan permukaan sampel tidak rata sesuai dengan harapan. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi filler nanoalumina dapat mengurangi nilai arus bocor. [3].

4.4. Karakteristik Polimer Karet alampada Pengujian *Surface tracking*

Akumulasi debu dan partikel kontaminan pada lapisan isolator dapat bertindak sebagai konduktor, terutama ketika dalam kondisi basah. Proses tracking dimulai dengan pengeringan permukaan isolator, dan jika terus berlanjut, akan terbentuk jalur konduktif antara dua terminal dengan potensial berbeda. Seiring waktu, arus bocor akan melewati jalur kontaminasi yang telah terbentuk, menghasilkan panas dan merusak lapisan kontaminan melalui percikan kecil. Hal ini mengganggu aliran arus bocor dan meningkatkan potensial listrik pada permukaan yang memiliki resistivitas berbeda, baik kering maupun lembab. Percikan yang dihasilkan oleh potensial listrik ini dapat melelehkan lapisan isolator, menyebabkan degradasi yang berkelanjutan, dan membentuk jalur konduktif berupa jejak karbon yang dapat menghantarkan listrik.



Gambar 4. 10 Isolator yang Mengalami *Surface Tracking*

Gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 menunjukkan kondisi permukaan sampel isolator A0, A1, dan A2 sebelum dan sesudah pengujian *surface tracking* selama 3 jam. Pada ketiga sampel, permukaan tetap terlihat seperti kondisi awal pengujian, tanpa adanya pembentukan jejak karbon atau susunan carbon tracks setelah pengujian dilakukan..



(a)



(b)

Gambar 4. 11 Hasil Pengujian *Surface Tracking* Polimer Karet alamA0 (a) A0 Sebelum Pengujian (b) A0 Setelah Pengujian



(a)



(b)

Gambar 4. 12 Hasil Pengujian *Surface Tracking* Polimer Karet alamA1 (a) A1 Sebelum Pengujian (b) A1 Setelah Pengujian



(a)



(b)

Gambar 4. 13 Hasil Pengujian *Surface Tracking* Polimer Karet alamA2 (a) A2 Sebelum Pengujian (b) A2 Setelah Pengujian

Selama pengujian yang berlangsung selama 3 jam, tidak ada perubahan kondisi pada sampel polimer alumina, dan tidak ditemukan jejak karbon pada lapisan luar. Kemampuan sampel polimer alumina untuk mencegah terjadinya *surface tracking*

selama periode tersebut dan air terindikasi tidak menempel pada permukaan luar sampel. Ini memperlihatkan bahwa polimer ini termasuk dalam kategori hidrofobik yang baik.

