

PENGARUH POLUTAN INDUSTRI TERHADAP KINERJA MEKANIS BAHAN ISOLASI RESIN BERPENGISI *SILICONE RUBBER* DAN *RICE HUSK ASH* (ABU SEKAM PADI)

THE EFFECT OF INDUSTRIAL POLLUTION TO THE MECHANICAL PERFORMANCE OF EPOXY RESIN INSULATION MATERIAL USING SILICONE RUBBER AND RICE HUSK ASH AS FILLER

Hasyim Asy'ari

Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Kartasura, Surakarta
Email: Asy_98ari@yahoo.com

ABSTRAK

Polimer saat ini telah banyak diteliti orang dengan harapan bisa didapatkannya formula bahan isolasi dengan kinerja yang tinggi pada penggunaan tertentu. Polimer mampu memegang peranan penting sebagai bahan isolasi karena memiliki kelebihan baik secara fisis maupun kimiawi. Isolator polimer semakin meluas penggunaannya baik di level tegangan transmisi maupun distribusi dan memiliki pangsa pasar cukup lebar di pasaran dunia. Polimer, khususnya resin epoksi memiliki beberapa kelemahan. Bahan ini sensitif jika digunakan pada suhu tinggi, kelembaban tinggi, dan daerah dengan intensitas radiasi ultraviolet (UV) tinggi, seperti di Indonesia. Di kawasan industri semen Gresik disinyalir banyak terjadi kegagalan isolator karena permukaannya terkontaminasi oleh lapisan polutan yang bergaram dan lembab. Penelitian ini merupakan penelitian laboratorium untuk mengetahui kinerja mekanis dari bahan isolasi resin epoksi yang terkontaminasi polutan industri di daerah tropis. Bahan uji resin epoksi terbuat dari diglycidyl ether of bishphenol A (DGEBA) sebagai bahan dasar, methaphenylene diamine (MPDA) sebagai bahan pengeras dan diberi bahan pengisi rice husk ash (RHA). Ukuran dari bahan uji adalah 70 mm x 70 mm x 5 mm. Perbandingan campuran DGEBA dengan MPDA adalah 1 : 1, sedangkan bahan pengisi (filler) divariasi mulai dari 10 %, 20 %, 30 %, 40 % dan 50 % dari berat total bahan uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

kekuatan tarik setelah penyinaran UV selama 96 jam cenderung lebih besar dibanding tanpa penyinaran tetapi kekerasan permukaan setelah penyinaran UV selama 96 jam cenderung lebih kecil dibanding tanpa penyinaran UV untuk semua komposisi filler, semakin besar komposisi filler maka nilai kekerasan permukaan bahan juga semakin besar.

Kata Kunci: Kekuatan tarik, silicone rubber, rice husk ash.

ABSTRACT

Polymers have been investigated by many researchers in order to find high performance insulator formula for specific uses. Polymers can play a significant role as insulating media because of their excellent physical and chemical properties. Polymeric insulators are increasingly being used in both distribution and transmission voltage ranges and steadily capture a wider share of the world market. On the other hand, polymers, such as epoxy resin have some disadvantages. It is very sensitive if it is used in high temperature, very humid, or area with high intensity of ultraviolet (UV) radiation, like in Indonesia. In Gresik cement industry, there were many insulators failed because the surfaces were contaminated by salty pollution layer and they were wet. This research was a laboratory study to investigate mechanical performance of insulation material made from epoxy resin contaminated with artificial industrial pollution. Test material of epoxy resin was made from diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) as base material, methaphenylene diamine (MPDA) as curing agent, silicone rubber and rice husk ash (RHA) as filler. The dimension of test material was 70 mm x 70mm x 5 mm. Ratio of DGEBA to MPDA was 1:1, while filler was varied from 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of total weight of test material. The results of the research indicated that mechanical tensile strength of test material after accelerated ageing was better than before accelerated ageing for all filler compositions but hard value of test material before accelerated ageing was better than after accelerated ageing for all filler compositions.

Keywords: mechanical tensile strength, silicone rubber, rice husk ash

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama, yaitu pusat pembangkit, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Letak pembangkit tenaga listrik ada kalanya cukup jauh dari daerah pelayanan, sehingga diperlukan saluran transmisi

jarak jauh sebelum didistribusikan ke konsumen. Transmisi tenaga listrik dalam jumlah besar memerlukan tegangan tinggi atau ekstra tinggi yang menimbulkan masalah utama pada bahan isolasi untuk isolator yang berfungsi mengisolasi saluran bertegangan dengan menara, atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus, dan dalam hal gradien medan tinggi, tidak terjadi lompatan listrik atau lewat denyar (*flashover*) atau percikan (*sparkover*) (Berahim, 2005).

Kontaminasi pada isolator yang dipasang di daerah perindustrian seperti daerah industri semen Gresik menjadi masalah besar dalam sistem operasi tenaga listrik. Pernah disinyalir di kawasan industri semen Gresik sering terjadi flash-over dan arus bocor yang cukup besar pada isolator penyaluran energi listrik. Hal ini karena tingkat polusi yang cukup besar di kawasan tersebut (PT. PLN & TE.UGM, 1996; Budiman, 2004). Polutan yang menempel pada isolator akan mempengaruhi nilai ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*). Polutan yang semakin tinggi menyebabkan ESDDnya akan semakin tinggi, sehingga kinerja bahan seperti arus bocor permukaan juga akan tinggi, tetapi tegangan kritis *flashover*-nya semakin kecil (Berahim, 2000).

Penelitian tentang pengaruh SiR sebagai bahan pengisi terhadap ESDD dan arus bocor material isolasi RTV resin epoksi di daerah beriklim tropis, dengan mengamati persentase pengaruh *silane* sebagai bahan pengisi terhadap kinerja bahan isolasi RTV (*Room Temperatur Vulkanized resin epoksi*), yang menyimpulkan bahwa penanganan bahan pengisi dengan *silane* akan dapat memperbaiki kinerja terutama pengurangan ESDD dan arus bocor permukaan dari material isolasi RTV *resin epoksi* masing-masing sekitar 35 % (Berahim, 2002).

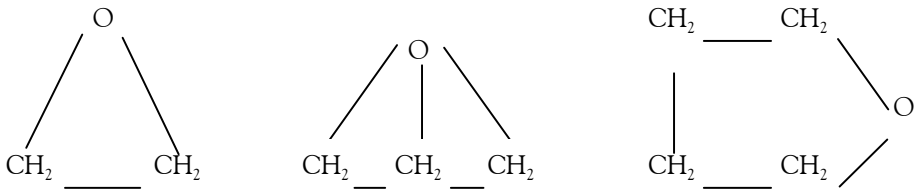
Penelitian tentang bahan polimer resin epoksi dilanjutkan oleh (Syafriyudin, 2003) dengan menggunakan bahan polimer resin epoksi dan bahan pengisi pasir silika serta *silikon rubber*. Fokus pengamatannya adalah pengaruh polutan industri terhadap sifat-sifat dielektrik, absorpsi air, sifat mekanik, serta sifat hidrofobiknya. Selanjutnya menyimpulkan bahwa adanya hubungan antara nilai stokiometri (NS) dengan sifat dielektriknya, semakin rendah NS maka nilai permitivitas serta nilai faktor disipasi akan semakin tinggi dan semakin banyak polutan yang menempel pada sampel uji dan semakin lama waktu penuaan akan menyebabkan tingkat kekerasan permukaan akan semakin baik, dan dapat meningkatkan sifat hidrofobiknya.

Pada bidang teknik elektro bahan pengisi silika kuarsa dan *aluminium oksida trihidrat* (ATH) telah lama dikenal, jika dibandingkan antara keduanya, ternyata silika kuarsa lebih populer digunakan (Yandri dan Sirait, 1998). Berkaitan dengan hal tersebut, mengingat Indonesia merupakan negara agraris

maka penelitian ini mengusulkan penggunaan *rice husk ash* (RHA) sebagai bahan pengisi/filler, dengan pertimbangan kandungan silika pada RHA yang cukup tinggi yaitu 88,2 % (Sarwono, 1989, seperti dikutip Daryanto, 2003). Penelitian tentang pencampuran RHA dengan semen telah dilakukan, hasilnya menunjukkan bahwa pencampuran tersebut dapat meningkatkan kekuatan mekanik bahan (Onggo,1986; Rimbawati, 2007).

Resin Epoksi

Epoksi/oksirana/alkena oksida adalah suatu eter siklik beranggotakan tiga atom. Epoksi yang paling sederhana adalah *ethylene oxide*, sedang *trimethylene oxide* dan *tetrahydrofuran* adalah contoh lainnya. (Gambar 1.)



Gambar 1. Contorh Struktur Resin Epoksi

Rice Husk Ash (abu sekam padi / RHA)

Sekam padi pada umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar utama atau tambahan pada industri pembuatan bata, media penyemai bibit tanaman, sedangkan abunya sebagian kecil untuk abu gosok dan lainnya dibuang begitu saja. Sekam padi yang dibakar akan menghasilkan abu sekam padi (*rice husk ash*) yang mempunyai kandungan silika cukup tinggi. Apabila dilakukan pembakaran lanjut pada suhu 500 s/d 700 °C dalam waktu sekitar 1 sampai 2 jam RHA mengandung banyak silika amorf (Priyosulistyo, 2004).

Komposisi RHA dari analisis kimia yang diperoleh dari hasil pembakaran batu bata didaerah kabupaten Bantul adalah sebagai berikut (Sarwono, 1989 seperti dikutip Daryanto, 2003):

Tabel 1. Komposisi RHA

RHA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	Hp
% Berat	88,2	2,7	2,15	1,85	0,65	0,7	0,15	0,5	3,98

Silicone Rubber (SiR)

Silicone rubber adalah bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi, yang biasanya digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolator tegangan tinggi. Sifat fisik bahan ini dapat diperbaiki dengan mencampurkan bahan pengisi seperti pasirsilika. *Silicone rubber* ini dapat aman digunakan pada temperatur -55° - 200° C. bahan ini memiliki hambatan yang baik terhadap ozon, korona dan air. Bahan ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap alkohol, garam dan minyak.

Pengujian Kekerasan Permukaan Bahan

Pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan menggunakan metode Brinell, Rockwell dan Vickers. Ketiga metode tersebut dapat dilakukan dengan cara penggosokan (khusus untuk keramik) atau dengan penumbukan terhadap bahan yang mengalami deformasi plastis (untuk polimer). Derajat kekerasan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$HVN = 1.854 \frac{P}{d_M^2} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

P = Beban penekan (kg)

d_M = Diagonal bekas penekanan (mm)

HVN = Nilai kekerasan atau Hard value Number (kgf/mm²)

Pengujian kekerasan permukaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan data berupa nilai kekerasan dari bahan *resin epoksi* dengan bahan pengisi RHA dan SiR. Pengamatan kekerasan bahan permukaan ini memerlukan mesin uji kekerasan dengan *standar 582-000-246* sebagai alat bantu. Titik keretakan dari bahan uji akan ditunjukkan jarum pada alat yang menunjukkan nilai kekerasan mekanis dan mendapatkan gambaran mengenai pengaruh komposisi bahan terhadap kekuatan mekanis bahan uji.

Pengujian Kekuatan Tarik Bahan

Sampel yang digunakan untuk pengujian kekuatan tarik menggunakan standard ASTM E 8M ditunjukkan pada gambar 2.

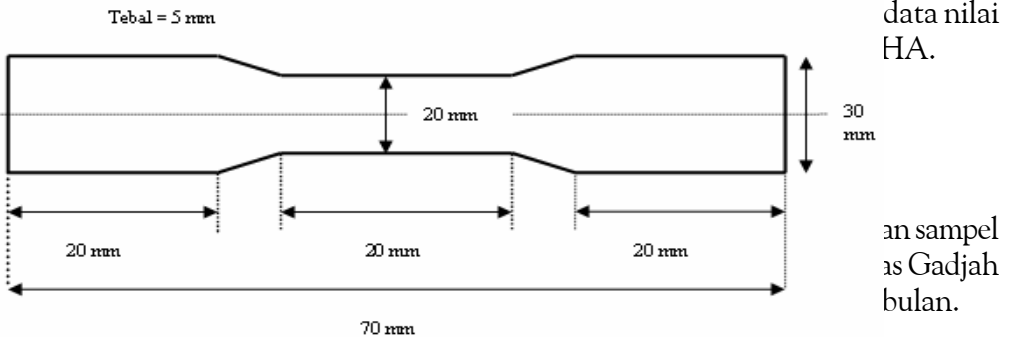
Gambar 2. Penampang Benda Uji Mekanik

Rumus menghitung tegangan tarik :

$$\sigma = \frac{P}{\lambda xt} \dots\dots\dots(2)$$

dengan

- σ : Tegangan tarik (kgf/mm²)
- P : data hasil uji (kgf)
- t : tebal (mm)
- λ : lebar (mm)



Alat dan Bahan

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis yaitu bahan utama (bahan isolasi resin epoksi *Diglycidil Eter Bisphenol A*) dan bahan pengisi (*filler*) yaitu *silicone rubber* dan abu sekam padi.

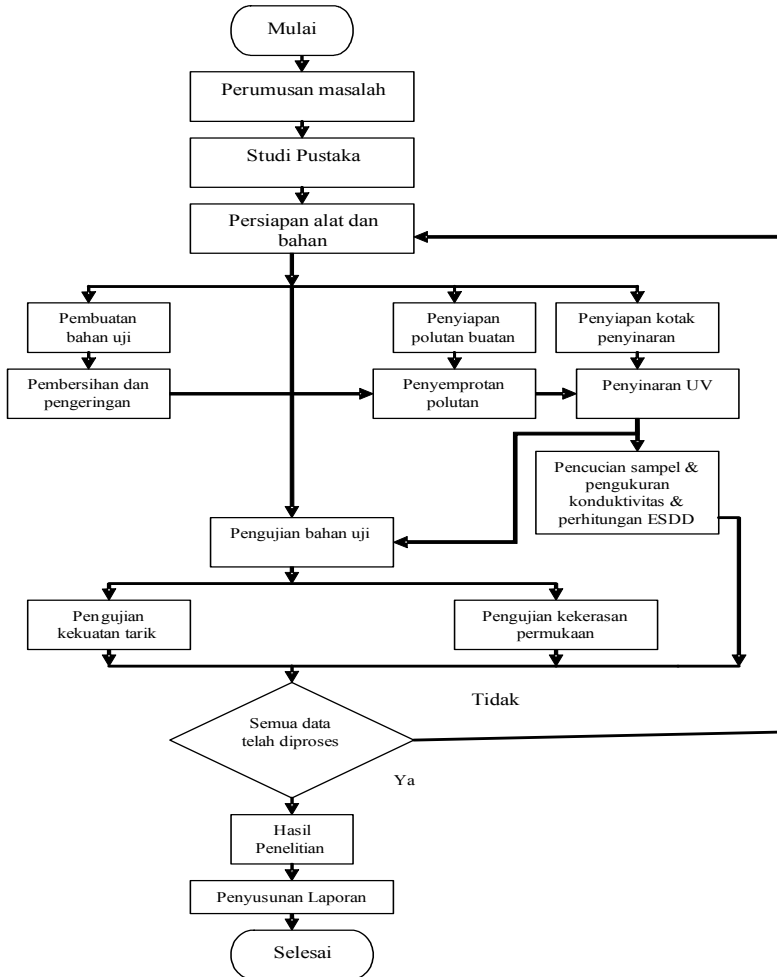
Peralatan yang dipakai

Sepasang alat pencetak terbuat dari kaca, *salfi fusser* alat penguji kekuatan tarik, *rockwell* alat penguji kekerasan permukaan, konduktometer, isolatif, penggaris, mika, cutter, seperangkat alat penyemprot polutan

Jalannya Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1, jalannya penelitian dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Pembuatan bahan uji
2. Pemberian polutan
3. Penyinaran ultra violet (UV)
4. Proses pengkabutan sebelum pengujian
5. Pengujian mekanis (kekuatan tarik dan kekerasan permukaan)
6. Pengukuran konduktifitas (guna perhitungan nilai *ESDD*)



Gambar 3. Proses Jalannya Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian kekuatan mekanis bahan

Pengujian kekuatan mekanis bahan terdiri dari dua bagian yaitu pengujian kekerasan permukaan bahan dan pengujian kekuatan tarik bahan. Adapun data hasil pengujian dari kedua macam pengujian sebagai berikut :

Hasil Pengujian kekuatan tarik bahan

Tegangan tarik pada penelitian ini dihitung dengan melihat hasil pengujian. Perhitungan tegangan tarik dilakukan dengan cara mengukur lebar dan tebal bahan uji terlebih dahulu. Kemudian dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.

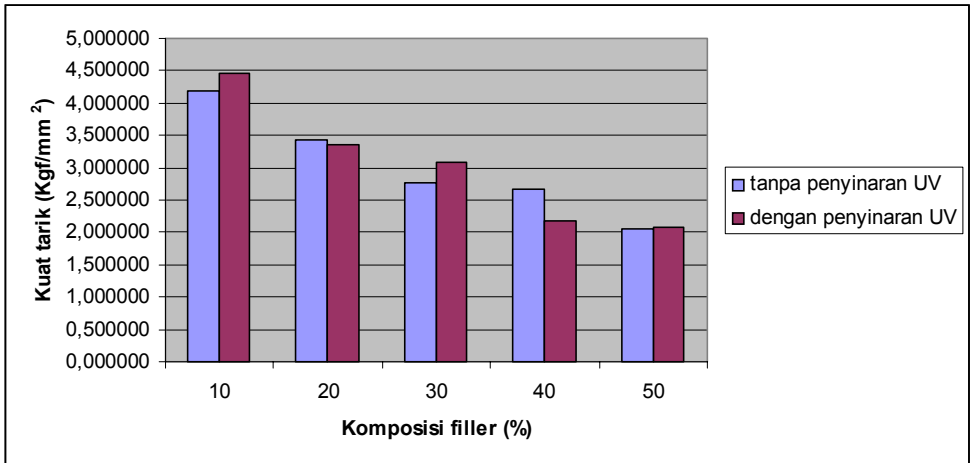
Contoh perhitungan tegangan tarik tanpa penyinaran UV dengan bahan pengisi abu sekam dan *silicone rubber* 20 % :

$$\sigma = \frac{68}{3,5 \times 5} = 3,8857143 \text{ kgf/mm}^2$$

Tabel 2. Hasil Uji Kekuatan Tarik

Tipe Spesimen	Perlakuan UV (Jam)	Pengujian Kc	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(%) Pengujian	P (Kgf)	σ maks (Kgf/mm ²)	σ maks rata-rata (Kgf/mm ²)
$\frac{P}{\lambda_{xt}}$ R9F1	0	1	3,5	5	4	80	4,5714286	4,190476
		2	3,5	5	3,6	72	4,1142857	
		3	3,5	5	3,4	68	3,8857143	
	96	1	3,5	5	3,5	70	4,0000000	
		2	3,5	5	4,2	84	4,8000000	
		3	3,5	5	4	80	4,5714286	
R8F2	0	1	3,5	5	3,4	68	3,8857143	3,428571
		2	3,5	5	2,9	58	3,3142857	
		3	3,5	5	2,7	54	3,0857143	
	96	1	3,5	5	2,8	56	3,2000000	
		2	3,5	5	2,8	56	3,2000000	
		3	3,5	5	3,2	64	3,6571429	
R7F3	0	1	3,5	5	2,9	58	3,3142857	2,780952
		2	3,5	5	2,8	56	3,2000000	
		3	3,5	5	1,6	32	1,8285714	
	96	1	3,5	5	2,1	42	2,4000000	
		2	3,5	5	3,3	66	3,7714286	
		3	3,5	5	2,7	54	3,0857143	
R6F4	0	1	3,5	5	2,4	48	2,7428571	2,666667
		2	3,5	5	2	40	2,2857143	
		3	3,5	5	2,6	52	2,9714286	
	96	1	3,5	5	1,9	38	2,1714286	
		2	3,5	5	2,1	42	2,4000000	
		3	3,5	5	1,7	34	1,9428571	
R5F5	0	1	3,5	5	1,7	34	1,9428571	2,057143
		2	3,5	5	1,5	30	1,7142857	
		3	3,5	5	2,2	44	2,5142857	
	96	1	3,5	5	2,1	42	2,4000000	
		2	3,5	5	1,9	38	2,1714286	
		3	3,5	5	1,5	30	1,7142857	

Data pengujian kekuatan tarik memperlihatkan bahwa kekuatan tarik bahan uji tanpa penyinaran UV R9F1 mencapai tegangan (*stress*) tertinggi 4,190476 Kgf/mm². Sedangkan kekuatan tarik yang telah mengalami penyinaran UV selama 96 jam R9F1 dengan tegangan maksimum 4,457143 Kgf/mm². Sedangkan bahan uji tanpa penyinaran UV R5F5 mencapai tegangan (*stress*) terendah 2,057143 Kgf/mm² dan untuk penyinaran selama 96 jam mencapai tegangan minimum atau terendah 2,095238 Kgf/mm². Hubungan antara kuat tarik bahan dengan komposisi *filler* ditunjukkan pada gambar 4. grafik hasil pengujian kekuatan tarik memiliki trend yang berubah-ubah dikarenakan pada saat penelitian tidak memperhatikan posisi meletakkan sampel pada saat penyinaran UV sehingga dimungkinkan terjadi perbedaan panjang gelombang yang diterima oleh semua sampel uji.



Gambar 4. Grafik Uji Kekuatan Tarik dengan Penyinaran UV dan Tanpa Penyinaran UV

Hasil Pengukuran uji kekerasan bahan

Pengukuran Kekerasan Permukaan pada penelitian ini diukur dengan melihat hasil pengujian dengan menggunakan sistem vicker, hasil pengujian kekerasan permukaan kemudian dihitung sesuai dengan persamaan 1.

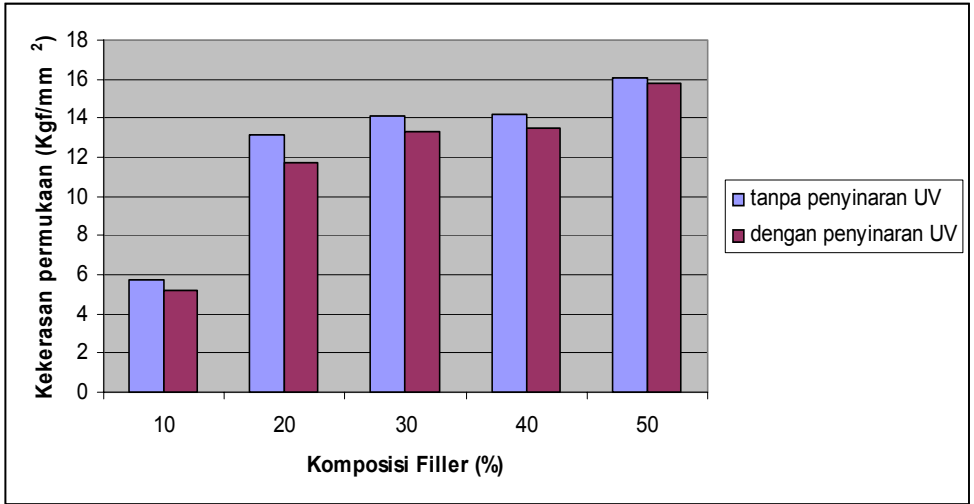
Tabel 4.2 menunjukkan nilai hasil pengukuran kekerasan permukaan dengan menggunakan alat *Hardness Tester*, dengan beban 30 kg. Contoh perhitungan tanpa penyinaran UV dengan bahan pengisi SiR dan RHA 20 %

$$= 11,6802 \text{ kgf/mm}^2$$

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan Bahan

Tipe Spesimen	Perlakuan UV (Jam)	Pengujian Ke	% rerata pengujian	Diagonal bekas penekanan (mm)	P	HVN	Rerata HVN
					(Kg)	(Kgf/mm ²)	(Kgf/mm ²)
R9F1	0	1	12	1,13	3,6	5,2736	5,699381
		2	9	1,06	2,7	4,434203	
		3	15	1,06	4,5	7,390339	
	96	1	17	1,19	5,1	6,705214	5,21351
		2	11	1,06	3,3	5,419582	
		3	8	1,13	2,4	3,515733	
R5F5	0	1	21	1,00	6,3	11,6802	13,7494
		2	22	0,94	5,8	10,9173	
		3	17	0,94	5,1	10,75811	
R7F3	0	1	17	0,94	5,1	10,75811	11,74183
		2	18	0,94	5,4	11,39038	
		3	18	0,94	5,4	11,39038	
R9F1	96	1	27	1,00	8,1	15,0174	14,13778
		2	26,5	1,00	7,95	14,7393	
		3	20	0,94	6,3	12,8564	
R5F5	96	1	19	0,94	5,1	10,75811	13,28086
		2	21	0,94	6,3	12,85947	
		3	20	0,88	5,8	12,52931	
R9F1	96	2	18	0,88	5,4	13,07638	13,47997
		3	20	0,94	6,3	12,65664	
		3	17,667	0,88	5,3	12,83422	
R9F1	0	2	18	0,88	5,4	13,07638	16,01949

penyinaran UV memiliki nilai yang lebih kecil karena terjadi pemutusan senyawa-senyawa penyusun sampel tersebut.



Gambar 5. Grafik Uji Kekerasan Permukaan dengan Penyinaran UV dan Tanpa Penyinaran UV

SIMPULAN

1. Kekuatan tarik bahan uji tanpa penyinaran UV lebih baik dari pada setelah mengalami penyinaran UV selama 96 jam dan semakin bertambahnya komposisi *filler* kekuatan tarik bahan cenderung menurun.
2. Kekerasan bahan uji tanpa penyinaran UV lebih baik dari pada setelah mengalami penyinaran UV selama 96 jam, semakin bertambahnya komposisi *filler* maka kekerasan permukaan bahan semakin meningkat hal ini dikarenakan bahan pengisi dengan abu sekam padi mampu memperbaiki sifat mekanis bahan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Berahim, H., 2000, " Pengaruh Polutan terhadap Kinerja Bahan Isolasi Epoksi resin untuk Isolator ", Seminar Nasional dan Workshop Teknik Tegangan Tinggi III, pp. 108-112, UI, Jakarta
- Berahim, H., 2002, " Pengaruh SiR sebagai Bahan Pengisi terhadap ESDD dan Arus Bocor Material Isolasi RTV Resin Epoksi di Daerah beriklim Tropis", Jurnal Tegangan Tinggi Indonesia, Bandung
- Berahim, H., 2006, " Pengaruh Silane sebagai Bahan Pengisi Material Isolasi Polimer Resin Epoksi di Daerah Tropis", Media Teknik No.3, Agustus, pp. 48-53.
- Budiman, A., 2005, " Hubungan Penuaan Dipercepat dengan Kinerja Bahan Isolasi Resin Epoksi yang terkontaminasi Polutan Industri di Daerah Tropis", Tesis, UGM, Yogyakarta
- Daryanto, 2003, " Pembuatan Silika Amorphous untuk Industrial Grade Silika dari Abu Sekam Padi ", Laporan Penelitian Teknik Kimia, UGM, Yogyakarta
- Davis, A., Sims, D., 1983 " Weathering of Polymers", Applied Science Publishers London, New York
- Gorur, R.S., Cherney, E.A., Hackam, R., 1990, " Polymeric Insulator Profiles Evaluated in a fog Chamber", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.5, No.2, April
- IEC Standard 507, 1991, " Artificial Pollution Test on High Voltage Insulators To Be Used on A.C. System", Second Edition
- IEC Standard 601, 1989, "High Voltage Test Techniques", pp. 34 Second Edition
- Kahar, Yandri, N., 1998, " Penelitian tentang Epoksi Sikloalifatik Tuang (EST) sebagai Bahan Isolasi Listrik Tegangan Tinggi di Daerah Beriklim Tropis, Disertasi ITB, Bandung
- Kim, S.H., et all, 1998, *Thermal Characteristics of RTV Silicone Rubber Coating as a Function of Filler Level*, Proceedings of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials in conjunction with 1998 Asian International Conference on Dielectrics and Electrical Insulation and the 30th Symposium on Electrical Insulating Materials
- Lee, H., Neville, K., 1967, " *Hand Book of Epoxy Resin s*", Mc Graw-Hill Book Company.

- Mizuno, Y., Kusada, H., Naito, K., 1997, “ Effect of Climatic Condition on Contaminan Flashover Voltage of Insulator”, IEEE Trans. On Dielectrical Insulation, vol.4, June, 286-289
- Ollier, V., Dureault, Gosse, B., 1998, “ Photo - Oxidation and electrical Aging of Anhydride-cured Epoxy Resin”, IEEE Trans. On Dielectrics and Electr. Insul. 5(6), 935-943
- Onggo, M., 1986,” Proses dan Sifat Campuran Abu Sekam Semen “, Telaah Jilid IX, No.1
- PLN dan Fakultas Teknik UGM, 1996, “Pekerjaan Studi dan Survey Penyusunan Peta Tingkat Intensitas Polusi serta Pedoman Pemilihan Jenis Isolator di Pulau Jawa,” Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta
- Rimbawati, 2007, “Kinerja Bahan Isolasi Polimer *Resin Epoksi* Dengan Bahan Pengisi *Rice Husk Ash* (Rha) Yang Terkontaminasi Polutan Laut Parangtritis Pada Daerah Beriklim Tropis” Tesis, UGM, Yogyakarta
- Suhartini, Y., Tumiran, Berahim, H., 2002, “ Effect Of Salt Contaminant To The Leakage Current Performance on The Resin Epoxy Insulating Material”, Joint Conference of ACED & K-J Symposium on ED and HVE, pp. 515-518
- Samson, P.M., 2001, “ Cast Electrical Insulation Quality Enchancements through Improved Filler Technologi”, IEEE Elect.Insul.Magazine, 17(5), 34-42
- Syafriyudin, 2003, “ Pengaruh Polutan Industri Terhadap Kinerja Bahan Isolasi Resin Epoksi”, Tesis, UGM, Yogyakarta
- Surdia, T., Saito, S., 1985, “ Pengetahuan Bahan Teknik “, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Suwarno, Salama, Sirait, K.T., Kaerner, H. C., 1998, “ Dielectric Properties and Surface Hydropobicity of Silicon Rubber Under the Influence on Artificial Tropical Climate “, Presented at International Symposium on Electrical Insulating Material , pp 507-510, Toyohashi, Japan.
- Yandri, N., Sirait, K.T., 1999, “ Kajian Awal Tentang Kemungkinan enggunaan Epoksi Sikloalifatik Tuang (EST) sebagai Material Isolasi Tegangan Tinggi di Indonesia”, Seminar Nasional dan Workshoop Teknik Tegangan Tinggi II, pp D.2.1 – D.2.6, UGM, Yogyakarta.