

PEMODELAN KONVERSI ENERGI LISTRIK DARI CURAH HUJAN MELALUI TRANSDUSER PIEZOELEKTRIK BERBASIS ANSYS

Jonathan Lumintang¹⁾, Jotje Rantung²⁾, Benny Maluegha³⁾

1,2,3) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado
Jl. Kampus UNSRAT, Manado

ABSTRAK

Ketergantungan manusia terhadap energi pada era modern ini semakin hari semakin meningkat. Saat ini, penggunaan energi dari sumber yang tidak terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi masih cukup tinggi yaitu sebesar 71% sedangkan energi terbarukan sebesar 29% (IEA, 2021). Padahal proses pembangkitan energi dari sumber yang tidak terbarukan itu memiliki dampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan, harus dimaksimalkan.

Untuk mengetahui energi yang dihasilkan dari model yang didesain maka dibutuhkan simulasi melalui ANSYS. Dalam proses simulasi dengan ANSYS dibutuhkan program tambahan untuk mencakupi karakteristik dari piezoelektrik dan digunakan ACT *extension*, Piezo and MEMS *extension*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan kesimpulan, bahwa untuk pemodelan curah hujan dengan intensitas kuat diperoleh energi adanya energi listrik sebesar 0,00024623 volt konversi energi yang kecil diperlukan komponen penunjang untuk pemanfaatan digunakan untuk energi listrik rumah tangga.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Tetesan Air Hujan, Piezoelektrik, ANSYS, Simulasi.

ABSTRACT

Human dependence on energy in this modern era is increasing day by day. Currently, the use of energy from non-renewable sources to meet energy needs is still quite high, namely 71%, while renewable energy is 29% (IEA, 2021). Even though the process of generating energy from non-renewable sources has a negative impact on the environment. Therefore, the utilization of renewable energy sources which are more environmentally friendly, must be maximized.

To find out the energy generated from the desained model, a simulation through ANSYS is needed. In the simulation process with ANSYS, an additional program is needed to cover the characteristics of the piezoelectric and use the ACT extension, Piezo and MEMS extension.

Based on the research that has been carried out, it can be concluded that for modeling rainfall with strong intensity, it is obtained that there is an electrical energy of 0,00024623 volt, a small energy conversion requires a supporting component to be used for household electrical energy.

Keywords : Renewable Energy, Raindrops, Piezoelectricity, ANSYS, Simulation

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, penggunaan energi dari sumber yang tidak terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi masih cukup tinggi yaitu sebesar 71% sedangkan energi terbarukan sebesar 29% (IEA, 2021).

Dengan memanfaatkan elemen piezoelektrik, energi tetesan air hujan dapat dipanen. Energi yang bisa dihasilkan adalah energi listrik yang diperoleh dari proses jatuh bebas tetesan hujan

Dalam penelitian ini, akan dibuat sebuah model konversi energi listrik dari curah hujan, serta dilakukan simulasi dari model yang dibuat dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pemodelan konversi energi listrik dari curah hujan melalui transduser piezoelektrik berbasis ANSYS.

1.3 Batasan Masalah

1. Elemen piezoelektrik yang digunakan adalah elemen piezoelektrik keramik
2. Pemodelan dilakukan berdasarkan data iklim dan

cuaca di Kota Manado, Sulawesi Utara.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah membuat pemodelan konversi energi listrik dari curah hujan melalui transduser piezoelektrik berbasis ANSYS.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memberikan sumbangsih untuk memperkaya studi tentang pembangkitan energi listrik dari salah satu bentuk sumber energi terbarukan yang masih jarang dimanfaatkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

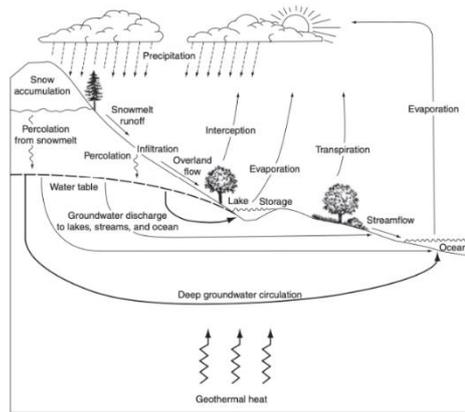
Berdasarkan penelitian terdahulu sesuai yang di rangkum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Riwayat penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Dudhat dkk	2019	<i>ANSYS Simulation of Piezoelectric Patch for Energy Harvesting</i>	Tegangan bolak-balik yang dikembangkan menggunakan model fisik berkisar antara 1,8 – 2,6V dan hasil yang diperoleh melalui simulasi ANSYS menunjukkan hasilnya berada dalam kisaran 2,05V, yang menyerupai tegangan yang terjadi pada model fisik.
2	Almanda dkk	2015	Analisis Desain Optimum Model Piezoelektrik PVDF untuk Sumber Pembangkit Listrik Air Hujan Berskala Mini	Dari penelitian ini didapat desain piezoelektrik yang optimum adalah dari ukuran 1x1 cm dan tebal piezoelektrik 0,5 cm, dengan tekanan 10 N/m ² menghasilkan nilai stress material paling tinggi yaitu 3,92 N/m ² .
3	Defiyani, E.	2012	Implementasi Papan Pengumpul Energi Tetesan Tenaga Air Hujan Berbasis Piezoelektrik	Tegangan tertinggi yang pernah dicapai adalah 3,13 V untuk 30 buah piezoelektrik disusun seri pada saat hujan dengan tegangan rata-ratanya adalah 2,617
4	Warude dkk	2015	<i>Harnessing of Kinetic Energy of Raindrops</i>	Simulasi numerik dari satu dampak tetesan hujan dapat dianalisis tetapi bagaimanapun hujan turun secara acak, sehingga akurasi untuk getaran benturan sulit dicapai.

2.2 Siklus Air

Hujan merupakan suatu fenomena dalam siklus air di mana uap air di atmosfer terkondensasi dan jatuh seperti siklus air dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Siklus air (Narasimhan, 2009)

2.3 Dimensi Tetesan Hujan

Dimensi air hujan terbentuk dari berbagai faktor menurut Ahrens, C.D. (2010), yaitu

1. Proses koalesensi
Adalah saat partikel-partikel air di awan bertumbukan, partikel yang lebih kecil.
2. Tingkat kejenuhan awan
Awan yang sangat jenuh dapat membentuk butiran-butiran air yang lebih besar karena partikel-partikel air lebih cepat bergabung.
3. Tingkat turbulensi
Tingkat turbulensi dalam awan juga dapat memengaruhi ukuran butiran

air hujan. Awan yang lebih turbulen dapat membentuk butiran-butiran air yang lebih besar karena partikel-partikel air lebih sering bertumbukan.

4. Ketinggian awan
Awan yang lebih tinggi memiliki suhu yang lebih rendah, sehingga partikel-partikel air lebih mudah membeku.

5. Komposisi kimia
Komposisi kimia air hujan juga dapat memengaruhi dimensinya.

2.4 Curah Hujan

Derajat curah hujan merupakan unsur kualitatif dari intensitas curah hujan. Biasanya satuan yang digunakan adalah mm/jam. Intensitas curah hujan dapat dilihat dalam Tabel 2.2 (Sosrodarsono, 1976).

Tabel 2. 2 Derajat curah hujan dan intensitas curah hujan

Derajat hujan	Intensitas curah hujan (mm/menit)	Kondisi
Hujan sangat lemah	< 0,02	Tanah agak basah
Hujan lemah	0,02-0,05	Tanah basah tapi tidak ada genangan air
Hujan normal	0,05-0,25	Ada beberapa genangan air
Hujan deras	0,25-1,00	Air tergenang di seluruh permukaan tanah
Hujan sangat deras	> 1,00	Terjadi luapan air

Energi tetesan air hujan yang menumbuk tanah dirumuskan dengan perkalian antara gaya dan kecepatan terminal sebagai berikut (Seung, 2015).

$$P_R = \sum F_R V_t(D) \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana daya curah hujan P_R adalah energi perluas area dan perwaktu

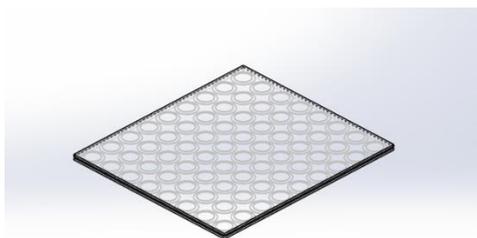
($J/m^2/s$), F_R gaya dari curah hujan adalah berat dari air hujan dibagi luas area (N/m^2), $V_t(D)$ adalah kecepatan terminal (m/s).

2.5 Desain Model

Energi berkelanjutan memiliki tiga tujuan, yaitu

1. Keamanan energi, memiliki arti menjaga kecukupan permintaan energi;
2. Energi untuk kualitas kehidupan, memiliki arti untuk menyediakan energi untuk siapa saja kapan saja;
3. Energi dan lingkungan, memiliki arti pembatasan perusakan iklim, ekosistem, dan kehidupan (UNECE, 2020).

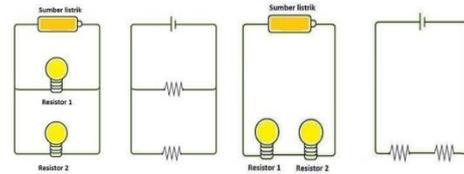
Untuk sketsa model seperti yang pada gambar 2.2, jumlah sensor piezoelektrik yang digunakan dalam sketsa ada sejumlah 72 buah elemen piezoelektrik dan pelat akrilik berukuran 240 mm x 270 mm x 1.5 mm.



Gambar 2.2 Sketsa model

2.6 Jenis Rangkaian

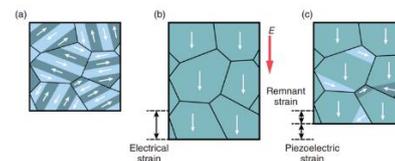
Dalam rangkaian listrik, rangkaian seri dan paralel seperti pada Gambar 2.3 adalah dua konfigurasi umum.



Gambar 2.1 Rangkaian listrik paralel (sebelah kiri) dan seri (sebelah kanan)

2.7 Material Piezoelektrik

Material piezoelektrik adalah jenis bahan atau material yang dapat menghasilkan muatan listrik ketika dikenakan tekanan.



Gambar 2.2 Polarisasi piezoelektrik Polarisasi dalam material piezoelektrik pada Gambar 2.4 adalah proses mengorientasikan arah muatan listrik yang terakumulasi di dalamnya.

2.8 Prinsip Kerja Piezoelektrik

Persamaan 2.2 digunakan untuk menghubungkan regangan mekanis dengan muatan listrik adalah (Dudhat, 2019)

$$\begin{bmatrix} K_{UU} & K_{UV} \\ K_{UV}^T & -K_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{UU} & 0 \\ 0 & -C_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U} \\ \dot{V} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{UU} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{V} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ Q \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan

- K_{uu} :kekakuan struktural
- K_{vv} :Permitivitas dielektrik
- K_{uv} :Kopling piezoelektrik
- Q :Muatan listrik negatif
- C_{uu} :Redaman struktural
- C_{vv} :Disipasi dielektrik
- M_{uu} :Massa
- F :Gaya

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Unsrat pada bulan September - Oktober 2022.

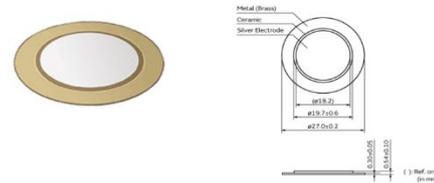
3.2 Bahan dan Peralatan

Komponen utama pada penelitian ini adalah perangkat komputer (PC/Labtop) untuk proses simulasi. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS 2019 R2.

3.3 Komponen Piezoelektrik (7BB-27-4)

Untuk jenis elemen piezoelektrik yang dipilih seperti dalam gambar 3.1 adalah tipe 7BB-

27-4, alasan pemilihan dikarenakan jumlah dan ketersediaan mudah untuk ditemukan.



Gambar 3.1 Piezoelektrik 7BB-27-4

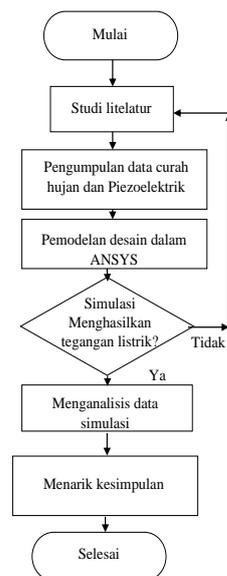
Data pabrik komponen tipe murata 7BB-27-4 seperti yang ada dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik sensor piezoelektrik

Material	Parameter	Symbol	Nilai	Unit
PZT	Massa jenis	ρ	8.0	10^3kg/m^3
7BB-27-4	Koefisien kehilangan	$\tan \delta$	2.2	(%)
(Murata Manufacturing Co.)	Konstanta elastisitas	$s_{11} = s_{22}$	16.7	$10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$
		s_{33}	18.8	
		$s_{44} = s_{55}$	38.8	
		s_{66}	45.4	
		s_{12}	-5.9	
		$s_{13} = s_{23}$	-7.5	
	Dielektrik relatif	$\epsilon_{11} = \epsilon_{22}$	3200	
		ϵ_{33}	4720	
	Konstanta piezoelektrik	$d_{31} = d_{32}$	-303	10^{-12}m/V
		d_{33}	603	
		d_{15}	592	
	Rasio redaman	ζ	0.06	
Disk tembaga	Massa jenis	ρ	8.82	10^3kg/m^3
C81500	Rasio poisson's	ν	0.34	
(AZoM, 2012)	Modulus young	E	117	GPa

3.4 Prosedur Penelitian

Tahapan yang tersusun dalam bentuk diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan untuk menunjukkan alur simulasi dalam Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian
3.4.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan penjelasan tahapan pada diagram alir penelitian sesuai Gambar 3.2.

a. Studi literatur

Referensi yang utama dalam pembuatan penelitian ini adalah dari artikel tentang *Rainfall as an Energy Source* (Harting C. 2010).

b. Pengumpulan data curah hujan

Data curah hujan yang di pakai berasal dari data BMKG kota Manado yang juga di lakukan perbandingan dengan pengukuran curah hujan secara pribadi.

c. Pemodelan desain dalam ANSYS *Workbench*

Dari jenis material yang ada di buat suatu model dalam ANSYS.

d. Simulasi menghasilkan listrik?

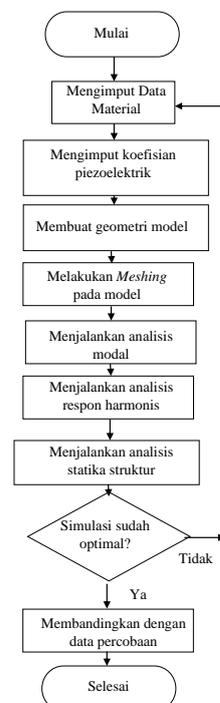
Parameter dan asumsi yang dimodelkan dapat menunjukan nilai data yang sesuai.

e. Menganalisis data simulasi

Pembandingan dari beberapa data yang ada apakah sesuai dengan perhitungan yang dimodelkan.

f. Menarik kesimpulan

Menjelaskan batasan dan hasil yang diperoleh serta menjawab batasan masalah sesuai.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Simulasi
3.4.2 Diagram alir simulasi

Pembuatan model pemanen listrik dengan elemen piezoelektrik memiliki tahapan-tahapan yang perlu dilakukan, seperti gambar 3.3 dengan:

a. Menginput data material

Pemilihan dan pengisian data yang sesuai material serta menginput konstanta dan karakteristik bahan dan material setiap bagian

b. Menentukan koefisien piezoelektrik

Mengisi sifat dan karakteristik dari jenis piezoelektrik yang digunakan lalu melihat apakah jenis piezoelektrik sesuai dengan model.

c. Membuat geometri model

Membuat desain *part* atau *assembly* yang akan di simulasikan dengan memperhatikan dimensi

d. Membuat meshing pada model

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai maka perlu dibuat sebuah pengaturan batas area.

e. Menjalankan analisis modal

Simulasi modal pertama dilakukan untuk melihat respons getaran yang timbul akibat resonansi pada bagian *part* yang terkait.

f. Menjalankan analisis respons harmonis

Tujuan yang di harapkan adalah untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada material jika terjadi pembebanan harmonis.

g. Menjalankan analisis statika struktur

Untuk mengetahui besar tegangan yang terjadi pada saat ada gaya dari permukaan penampang.

h. Apakah simulasi sudah optimal

Dengan melihat apakah ada energi listrik.

i. Membandingkan dengan data percobaan

Dari hasil yang di peroleh maka dilakukan perbandingan dengan bentuk fisik desain.

IV. PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Parameter dan Pemodelan Transduser Piezoelektrik

4.1.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh pada (<http://dataonline.bmkg.go.id>, 2023) adalah data curah hujan rata-rata pada bulan September 2022 juga di ambil untuk pembanding pada tanggal 20 September. Untuk data curah hujan rata-rata diperoleh nilai sebesar 13,925 (mm/hari) dari bulan September sampai Oktober dan terbesar 69,7 (mm/hari).

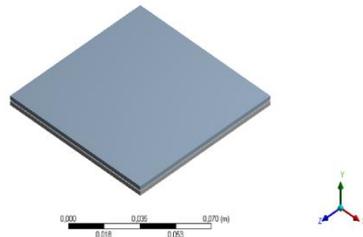
4.1.2 Menghitung gaya yang terjadi

Menghitung gaya air hujan yang sesuai curah hujan yang terjadi menggunakan persamaan Hukum ke dua Newton seperti dalam Persamaan (4.1)

$$F = m \cdot a \dots \dots \dots (4.1)$$

4.1.3 Desain transduser piezoelektrik

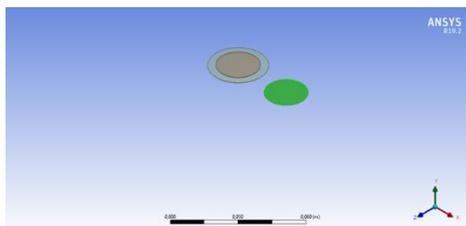
Pada Gambar 4.1 adalah desain dari transduser piezoelektrik.



Gambar 4.1 Dimensi Desain Model

Selanjutnya, buat model geometri menggunakan perangkat lunak CAD atau fitur CAD di ANSYS. Pemodelan geometri ini harus sesuai dengan dimensi fisik objek dan sistem yang sesuai.

Setelah itu, definisikan bahan yang digunakan seperti pada Gambar 4.2. Menentukan properti material yang tepat untuk mewakili bahan objek atau sistem yang dianalisis.



Gambar 4.2 Desain part piezoelektrik

4.1.4 Parameter Simulasi

Untuk dilakukan pembanding pengukuran maka pengukuran pembanding di lakukan secara manual seperti dalam Gambar 4.3

untuk memperoleh data curah hujan yang terjadi.



Gambar 4. 3 Pengambilan data

Dari data curah hujan BMKG yang diperoleh dilakukan perhitungan dalam Tabel 4.1 dilakukan perhitungan gaya yang terjadi dari data curah hujan dengan menggunakan hukum Newton ke-2.

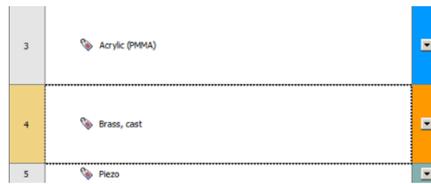
Tabel 4. 1 Perhitungan Gaya

Keterangan	Curah Hujan per hari (m ³)	Curah hujan per detik (m ³)	Volume (m ³)	ρ air (Kg/m ³) 22°C	Berat(Kg)	Gaya(N)
Kuat	69,7	0,00081019	8,10185E-07	997,767	0,000808	0,0079221
rata2	13,925	0,00016117	1,61169E-07	997,767	0,000160	0,0015759
Lemah	0,2	2,3148E-06	2,31481E-09	997,767	2,30E-06	2,263E-05

4.2 Pengaturan dasar ANSYS

Dalam proses simulasi dengan ANSYS dibutuhkan program tambahan untuk mencakupi karakteristik dari piezoelektrik dan digunakan ACT *extension*, Piezo and MEMS *extension*. Untuk format properti piezoelektrik sesuai ANSI/IEEE Std 176-1987 di ubah untuk mengikuti format dari ANSYS.

a. Pemilihan bahan



Gambar 4. 4 Pemilihan jenis material Dalam pembuatan dan pengimputan data bahan pada gambar 4.4 didapatkan pada *data sheet* tokoh dan *data sheet* material yang diperoleh pada tokoh.

b. Pemberian data material

Setelah mengimport desain geometri pada ANSYS *Workbench* maka perlu diberikan data material untuk menunjukkan karakteristik material pada *part* yang akan dijalankan analisis. Dalam gambar 4.5 memiliki data pelat akrilik dan gambar 4.6 dan gambar 4.7 adalah komponen dalam piezoelektrik.

1	Property	Value	Unit
2	Density	1183	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	0,000221	C ⁻¹
5	Isotropic Elasticity		
6	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
7	Young's Modulus	2,98E+09	Pa
8	Poisson's Ratio	0,365	
9	Bulk Modulus	4,389E+09	Pa
10	Shear Modulus	5,493E+08	Pa
11	Tensile Yield Strength	6,72E+07	Pa
12	Tensile Ultimate Strength	6,72E+07	Pa

Gambar 4. 5 Data material akrilik

1	Property	Value	Unit
2	Density	8130	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,9E-05	C ⁻¹
5	Isotropic Elasticity		
6	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
7	Young's Modulus	5,9E+10	Pa
8	Poisson's Ratio	0,348	
9	Bulk Modulus	1,022E+11	Pa
10	Shear Modulus	3,969E+10	Pa
11	Tensile Yield Strength	6,72E+07	Pa
12	Tensile Ultimate Strength	3,76E+08	Pa

Gambar 4. 6 Data material kuningan

1	Property	Value	Unit
2	Material Fracture Indices		
3	Density	7800	kg m ⁻³
4	Isotropic Elasticity		
5	Young's Modulus X direction	7,93E+10	Pa
6	Young's Modulus Y direction	7,93E+10	Pa
7	Young's Modulus Z direction	6,24E+10	Pa
8	Poisson's Ratio XY	0,28768	
9	Poisson's Ratio YZ	0,45284	
10	Poisson's Ratio XZ	0,45284	
11	Shear Modulus XY	2E+10	Pa
12	Shear Modulus YZ	2,0E+10	Pa
13	Shear Modulus XZ	2,0E+10	Pa

Gambar 4. 7 Data material Piezoelektrik

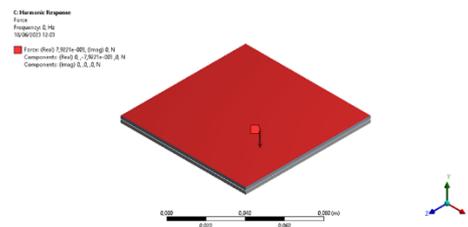
c. Pembuatan mesh

Setelah material sudah di tetapkan pada geometri selanjutnya membuat data mesh untuk mempermudah melihat respon yang terjadi pada geometri.

d. Pemilihan jenis analisis modal

Setelah pemberian karakteristik dan data pada desain maka dilakukan jalankan analisis modal dengan tujuan melihat deformasi yang terjadi.

e. Penempatan gaya

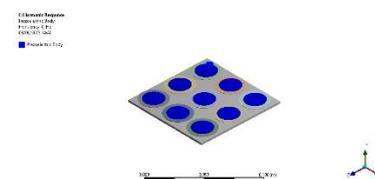


Gambar 4. 8 Pemberian beban curah hujan

Untuk menentukan respon desain yang terjadi pada matrial maka ditempatkan gaya seperti pada Gambar 4.8.

f. Pemberian sifat material piezoelektrik

Untuk menemukan voltase yang dihasilkan maka diperlukan data dielektrik material sesuai Gambar 4.9.



Geometry	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	9 Bodies
Definition	
Material Definition	Simplified
Polarization Axis	Y
Permittivity Constant	8.854E-12 [A sec sec sec kg ⁻¹ m ⁻¹ m ⁻¹]
PIEZ e31	-5.2 [A sec m ⁻¹ m ⁻¹]
PIEZ e33	15.1 [A sec m ⁻¹ m ⁻¹]
PIEZ e15	12.7 [A sec m ⁻¹ m ⁻¹]
DPER ep11	729
DPER ep33	635
RSVX	0 [kg m m m A ⁻¹ A ⁻¹ sec ⁻¹ sec ⁻¹ sec ⁻¹]
RSVY	0 [kg m m m A ⁻¹ A ⁻¹ sec ⁻¹ sec ⁻¹ sec ⁻¹]
RSVZ	0 [kg m m m A ⁻¹ A ⁻¹ sec ⁻¹ sec ⁻¹ sec ⁻¹]
LSST	0
Perfectly Matched Layers (PML)	Off
PML Coordinate System Number	0

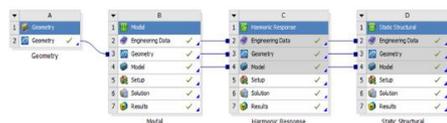
Gambar 4. 9 Pemilihan elemen piezoelektrik

g. Pemilihan jenis analisis respon harmonis

Analisis yang dijalankan adalah analisis respon frekuensi dan analisis tegangan listrik untuk menentukan besar tegangan dan getaran yang terjadi.

V. HASIL

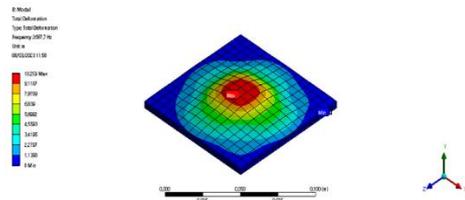
Dengan bentuk alur simulasi dengan gambar 5.1 secara jelas tergambarakan tahapan simulasi.



Gambar 5. 1 Alur simulasi

5.1 Analisis Modal

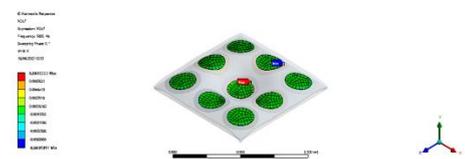
Analisis modal digunakan untuk menghitung frekuensi dan mode getar struktur piezoelektrik. Selanjutnya, model akan dibangun dan dihitung frekuensi dan mode getarnya seperti dalam gambar 5.2.



Gambar 5.2 Analisis modal menentukan deformasi

5.2 Analisis Respon Harmonis

Analisis respon harmonis digunakan untuk mengetahui respons struktur piezoelektrik terhadap rangsangan gaya harmonis. Dengan menggunakan *extension* Piezo and MEMS besar tegangan listrik yang terjadi akibat pembebanan harmonis yaitu sebesar 0,00852 volt terlihat dalam Gambar 5.3.

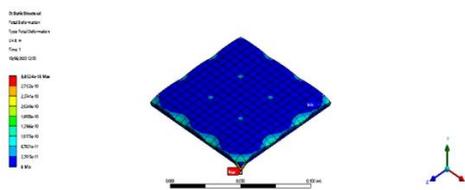


Gambar 5. 3 Besar tegangan

Energi listrik dihasilkan dari simulasi modal, respon harmonis, dan statik struktur dengan memanfaatkan ACT piezo dan MEMS ANSYS.

5.3 Analisis Struktur

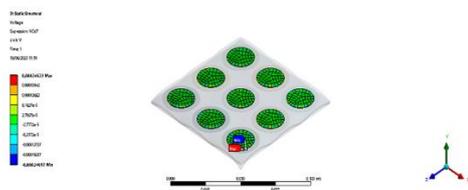
Analisis struktur dilakukan untuk menghitung tegangan, regangan, dan deformasi pada struktur piezoelektrik.



Gambar 5. 4 Bentuk deformasi yang terjadi

Terakhir, dalam simulasi statik struktur, seperti pada Gambar 5.4 gaya 0,00792208N diaplikasikan pada struktur yang telah dilengkapi dengan ACT piezo dan MEMS ANSYS. Respons struktur terhadap gaya eksternal ini mengalami deformasi yang cukup kecil $3,0524e-10$ meter yang nampak pada Gambar 5.4

Dengan demikian, energi listrik sebesar 0,00024623 volt dapat dihasilkan dari struktur mekanik yang memiliki respons dinamik terhadap gaya eksternal melalui pemanfaatan perangkat ACT piezo dan program simulasi MEMS ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Besar tegangan yang dihasilkan

VI. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan kesimpulan bahwa untuk pemodelan curah hujan dengan intensitas kuat

diperoleh energi adanya energi listrik sebesar 0,00024623 volt.

6.2 Saran

1. Dapat dilakukan pembuatan desain yang lebih efisien dalam memanen atau menyalurkan pembebanan mekanik yang terjadi menjadi pada elemen piezoelektrik.
2. Dalam pemodelan dan proses simulasi dapat menggunakan Abaqus atau COMSOL untuk lebih melengkapi karakteristik dari elemen piezoelektrik.

DAFTAR PUSTAKA

AZoM. 2012. *Copper Alloy UNS C81500*. Diperoleh 5 22, 2021, dari www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6452

Alamanda, dkk. 2015. Analisis Desain Optimum Model Piezoelektrik PVDF untuk Sumber Pembangkit Listrik Air Hujan Berskala Mini. Universitas Muhammadiyah Jakarta.

BMKG, 2023 Data Curah Hujan. Diperoleh 09 Mei 2023 09:41:33, dari <http://dataonline.bmkg.go.id>

- Defiyani, E. 2012. Implementasi Papan Pengumpul Energi Tetesan Tenaga Air Hujan Berbasis Piezoelektrik. Institut Teknologi Telkom Bandung.
- Dudhat, P. L. 2019. *ANSYS Simulation of Piezoelectric Patch for Energy Harvesting*. Mechanical Engineering Department.
- IEA. 2021. *Global Energy Review 2021*. International Energy Agency.
- Kagawa, dkk 1996. Finite Element Simulation of Piezoelectric Vibration Gyroscopes. *IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, VOL. 43, NO. 4*.
- Jing-Feng, L. 2021. *Lead-Free Piezoelectric Materials, First Edition*. WILEY-VCH GmbH
- Murata Manufacturing Co., L. n.d.. *7BB-27-4. Data Sheet*.
- Narasimhan, T. 2009. *Hydrological Cycle and Water Budget*. Elsevier.
- Negara, D. N. K. P. 2009. Simulasi dan Studi Eksperimen Defleksi Beam Bright Mild Steel Akibat Variasi Beban Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 3 No.1, 72*.
- Seung, dkk. 2015. *Universal Power Law for Relationship between Rainfall Kinetic Energy and Rainfall Intensity*. Hindawi, 5.
- Smith, J. 2010. *Introduction to Piezoelectric Materials*. New York: Springer.
- Sosrodarsono, S. T. 1976. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pradya Paramita.
- Staworko, T. U. 2008. *Modeling and Simulation of Piezoelectric Elements*. *MECHANICS Vol 27 No. 4, 164*.
- UNECE. 2020. *Pathways to Sustainable Energy*. United Nation.
- Warude dkk. 2015. *Harnessing of Kinetic Energy of Raindrops*. *Sinhgad Institute Of Technology And Science, Pune, Maharashtra, India*.
- Wells, J. C. 1990. *Pronunciation Dictionary*. Longman.