

# Review Optimasi Ukuran dan Ketebalan Pizoelektrik untuk Pemanenan Energi Hujan pada Atap Model Bangunan sebagai Sumber Energi Listrik

Kurnia Sandi Oktaris, & Rifky

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jl. Tanah Merdeka no. 6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830

E-mail: [kurniaoktaris@gmail.com](mailto:kurniaoktaris@gmail.com)

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji optimasi ukuran dan ketebalan piezoelektrik sebagai elemen utama dalam pemanenan energi hujan dari rintikan hujan. Metode yang digunakan Adalah eksperimen dengan memvariasikan ukuran piezoelektrik (1x1 cm, 3x3 cm, 5x5 cm) dan ketebalan (0,2-0,5 cm) yang dipasangkan pada atap model bangunan. Variabel penelitian yang diukur adalah tegangan dan arus listrik dengan menggunakan multimeter sebanyak tiga kali untuk validitas data. Data diolah untuk menentukan daya listrik keluaran dan efisiensi sistem konversi energi piezoelektrik. Hasil kajian dan eksperimen menunjukan bahwa ukuran dan ketebalan piezoelektrik berpengaruh terhadap daya listrik keluaran dan efisiensi. Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa dimensi optimal piezoelektrik menentukan daya listrik luaran dan efisiensi yang maksimal.

**Kata Kunci:** piezoelektrik, ukuran, ketebalan, pemanenan, energi hujan

## Abstract

This study aims to examine the optimization of the size and thickness of piezoelectric as the main element in harvesting rain energy from raindrops. The method used is an experiment by varying the size of the piezoelectric (1x1 cm, 3x3 cm, 5x5 cm) and thickness (0.2-0.5 cm) which is installed on the roof of the building model. The research variables measured are voltage and electric current using a multimeter three times for data validity. The data is processed to determine the output electrical power and efficiency of the piezoelectric energy conversion system. The results of the study and experiments show that the size and thickness of the piezoelectric affect the output electrical power and efficiency. The results of this study found that the optimal dimensions of the piezoelectric determine the maximum output electrical power and efficiency.

**Keywords:** piezoelectric, size, thickness, harvesting, rain energy

## 1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki musim hujan dengan curah hujan yang cukup tinggi. Hujan yang tinggi ini memberikan potensi besar untuk dijadikan sumber energi alternatif yang dapat dikonversi menjadi energi listrik [1]. Potensi air hujan sebagai pemanen energi diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif. Pemanenan energi tersebut menawarkan mekanisme konversi energi dari tetesan air hujan yang dapat memberikan aspek tekanan pada atap rumah. Efek tekanan air hujan terhadap atap menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik dari tetesan air hujan terhadap material atap dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi. Gerak, aliran, dan getaran suatu sumber dapat ditangkap dan diubah menjadi tenaga listrik melalui transduksi mekanik ke listrik. Energi mekanik tersebut akan mengalami konversi setelah dipasang perangkat yang dapat

mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Perangkat tersebut berupa modul yang terbuat dari material piezoelektrik.

Hujan sebagai media konverter energi dari tetesannya terhadap material piezoelektrik yang dapat menimbulkan energi listrik. Namun, untuk mendapatkan daya listrik keluaran yang optimal dari tetesan hujan diperlukan desain *piezoelektrik* yang tepat dari segi ukuran dan ketebalannya.

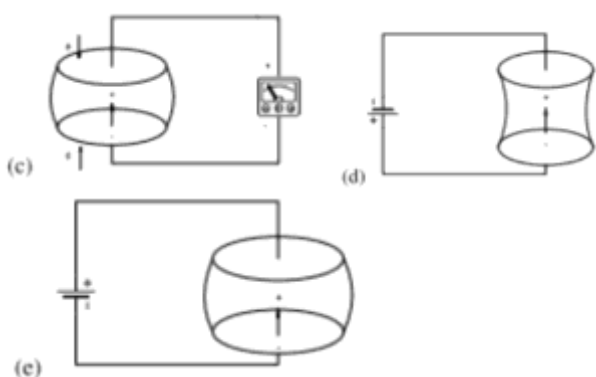
Penerapan sistem *piezoelektrik* pada atap menghadapi sejumlah kendala teknis, seperti beban dinamis, frekuensi tumbukan air hujan, pemilihan material *piezoelektrik* yang paling efisien, integrasi rangkaian elektronik seperti penyearah dan penyimpanan energi, serta capaian daya keluaran yang realistis di bawah kondisi hujan alami. Karena itu, perancangan sistem konversi energi piezoelektrik untuk menangkap energi dari tetesan hujan pada atap memerlukan analisis komprehensif yang mencakup

aspek teori, simulasi, pembuatan prototipe, hingga tahap pengujian kinerja.

## 2 PENGANTAR EFEK PIEZOELEKTRIK

Efek *piezoelektrik* fenomenan dimana bahan piezoelektrik dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik ketika dikenakan tekanan atau getaran gaya mekanis. Sebaliknya ketika bahan tersebut diberi medan listrik ia dapat mengalami perubahan bentuk atau dimensi, fenomena ini ditemukan oleh Paul Jacques Curiw dan Piere Curie pada tahun 1880 dan berasal dari kata Yunani yang berarti menekan [1].

*Piezoelektrik* memiliki efek sebagaimana untuk melakukan konversi energi pada gambar di bawah ini.



Gambar 1 mekanisme piezoelektrik bisa terjadi. [2]

Pada Gambar 1 menunjukan bahwasannya gambar tersebut menjelaskan efek piezoelektrik bekerja yaitu ketika terkena tekanan piezoelektrik menghasilkan energi listrik.

Konversi energi getaran dapat dilakukan melalui efek piezoelektrik maupun metode lain seperti efek elektrostatik dan efek elektromagnetik. Proses ini memanfaatkan sumber getaran dari berbagai asal, seperti tubuh manusia atau mesin. Beberapa material, termasuk keramik dan kristal, mampu menghasilkan potensi listrik ketika mengalami tekanan mekanis. Salah satu penerapan energi dari gerakan mekanis pada industri, misalnya pemanfaatan konversi getaran untuk memasok energi pada jam terdapat penelitian oleh stark menelaah potensi sumber getaran reguler dari kendaraan, bangunan, dan kereta api sebagai sumber energi bagi simpul sensor [3].

## 3 MEKANISME FISIKA EFEK PIEZOELEKTRIK

Mekanisme pada alat ini terjadi karena perubahan distribusi muatan listrik dalam bahan piezoelektrik yang memiliki struktur, kristal tanpa pusat simetri inversi, sehingga saat diberikan tekanan. Terjadi

pergeseran pusat muatan positif dan negatif dalam material, menghasilkan listrik di dalam bahan tersebut. Sebaliknya jika di beri tegangan listrik material piezoelektrik akan mengalami perubahan dimensi atau penundaan pada penyimpanan listrik tersebut. Persamaan konstitutif efek piezoelektrik langsung dan kebalikannya adalah sebagai berikut [4].

$$D = dT + \epsilon E \text{ (Efek langsung)} \quad (1)$$

$$X = sT + dE \text{ (Efek kebalikan)} \quad (2)$$

di mana  $D$  adalah perpindahan listrik, koefisien piezoelektrik  $d$ , tegangan  $T$ ,  $\epsilon$  permitivitas material, medan listrik  $E$ , regangan  $X$ , dan kelenturan mekanis [4].

Secara rinci mekanisme tegangan mengakibatkan distribusi muatan listrik pada bahan piezoelektrik yang menyebabkan penumpukan muatan di permukaan bahan tersebut. Jika permukaan tersebut dilapisi dengan elektroda logam. Maka muatan ini dapat dimanfaatkan sebagai sinyal listrik. Mekanisme ini banyak digunakan dalam sensor piezoelektrik, actuator dan sumber energi kecil karena kemampuannya mengubah energi mekanik menjadi listrik secara langsung.

Viskositas merupakan salah satu sifat penting dari zat cair yang berperan besar dalam berbagai sistem fisika dan aplikasi teknik. Fenomena yang beragam seperti aliran fluida dalam pipa. Efek piezoelektrik diketahui dengan intensitas yang sangat lemah pertama kali terjadi pada jaringan organik dan berbagai bahan organik lainnya sejak tahun 1950. Hingga tahun 1969, sifat ini belum ditemukan pada polimer non-organik. Pada saat meneliti sifat kelistrikan berbagai jenis polimer sintesis teridentifikasi adanya polarisasi muatan dalam polivinilidena. Penelitian kemudian menyoroiti sifat piezoelektrik, feroelektrik, dielektrik, piroelektrik, elektroklorik, fotovoltaiik, fotoelastis, serta karakteristik optik dari material PVDF. Berbagai penelitian berikutnya sejumlah polimer, seerti polivinilidena dianida dan kopolimernya poliurea aromatik dan alifatik, polivinil klorida, poliamida aromatik, serta kopolimer PVDF. Sifat serupa juga diamati pada campuran PVDF dengan polimetil metakrilat (PMMA), polivinil fluorida. Efek piezoelektrik sendiri merupakan fenomena dimana suatu material mengalami perubahan bentuk mekanik ketika dialiri medan listrik, dan sebaliknya dapat menghasilkan tegangan listrik pada saat mengalami transmisi mekanik. Fenomena ini terjadi karena adanya perubahan jarak antara muatan positif dan negatif dalam struktur molekul ketika material

tertekan, yang menyebabkan perubahan orientasi muatan atau polarisasi. Akibatnya timbul perbedaan konsentrasi listrik pada permukaan material. Besarnya konsentrasi muatan tersebut dapat dinyatakan dalam dua bentuk persamaan tergantung pada kondisi mekanik yang diterapkan [5]. Persamaan untuk charge mode persamaan. [5]

$$Q = d_{3i} \sigma_i A \quad (i = 1, 2 \text{ atau } 3) \quad (2.1)$$

dimana:

$Q$  = Muatan yang dihasilkan

$d_{3i}$  = Konstanta film PVDF

$\sigma_i$  = tekanan relevan (1, 2 atau 3)

Untuk voltage mode berlaku persamaan:

$$V_o = g_{3i} \sigma_i t \quad (2.2)$$

dimana:

$V_o$  = tegangan open loop

$g_{3i}$  = konstanta film PVDF

$\sigma_i$  = tekanan relevan (1, 2, atau 3)

$t$  = tebal film PVDF

**Gambar 2** Rumus muatan yang dihasilkan dan tegangan open loop

#### 4 MATERIAL PIEZOELEKTRIK

Bahan Piezoelektrik biasanya berupa bahan keramik atau senyawa kimia yaitu barium Titanat (Ba T) yang memiliki struktur kristal tanpa pusat simetris. Ketika tekanan mekanis diberikan struktur bahan tersebut mengalami perubahan yang menyebabkan terjadinya polarisasi listrik dan menghasilkan tegangan listrik. Sebaliknya, ketika medan listrik diterapkan bahan mengalami perbaikan mekanis efek ini membuat piezoelektrik sangat berguna sebagai sensor, actuator [6]. Upaya peningkatan kinerja bahan piezoelektrik BaTiO<sub>3</sub> sebagai keramik elektronik terus dikembangkan karena bahan ini memiliki berbagai keunggulan, seperti kestabilan kimia dan mekanik, sifat feroelektrik yang baik pada suhu ruang maupun di atasnya dengan suhu curie sekitar 120 C, ramah lingkungan karena bebas timbal, serta relatif mudah disintesis. Peningkatan kualitas sifat elektrik dari keramik ini dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan antara lain, menemukan komposisi baru yang mampu memperbaiki sifat elektrik sesuai fungsi yang diinginkan, mengembangkan struktur mikro dengan orientasi kristal tertentu pada komposisi material penyusunannya, menerapkan metode

berbasis teknologi untuk mensinergikan sistem multifungsi dan multimaterial guna memperoleh fenomena baru, meningkatkan sifat material, serta mengoptimalkan kinerjanya [6]

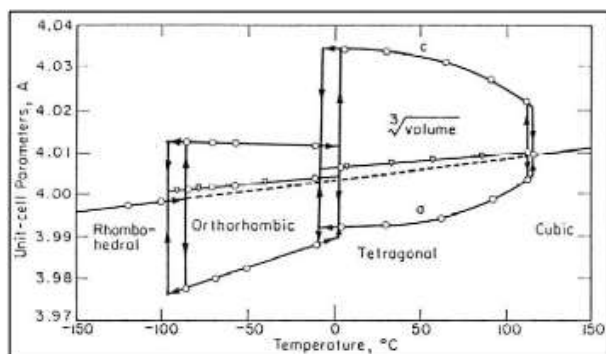
Bahan barium titanat menarik banyak peneliti karena memiliki karakteristik yang memungkinkan penggunaannya pada berbagai aplikasi. Salah satu sifat utama dari barium titanat adalah stabilitas mekanik dan kimianya yang tinggi, serta perilaku feroelektrik unik, dimana material ini dapat menunjukkan sifat feroelektrik pada suhu ruang hingga di atas suhu ruang, dan dapat diproses dengan cukup mudah dalam bentuk kristalin. Selain itu keunggulan lain dari barium titanat adalah konstanta dielektriknya yang tinggi serta nilai dielectric loss yang rendah, sehingga material ini banyak diaplikasikan sebagai media penyimpanan energi dalam bentuk kapasitor atau perangkat sejenisnya [7].

Sejak ditemukannya, barium titanat diketahui mengalami tiga perubahan fase utama yang berkaitan dengan sifat feroelektriknya. Berdasarkan sejumlah penelitian, suhu curie dari barium titanat adalah sekitar 120 C pada suhu di atas tersebut, material ini berada dalam fase kubus yang stabil hingga, mencapai suhu sekitar 1460 C, sementara pada suhu lebih tinggi barium titanat beralih menjadi fase hexagonal. Sifat feroelektrik maksimum pada barium titanat muncul ketika berada pada fase tetragonal, yaitu rentang suhu 5 C hingga 120 C [8].

Bahan piezoelektrik merupakan jenis material yang dapat menghasilkan muatan listrik sebagai respons terhadap tekanan mekanik atau perubahan bentuk, dan sebaliknya mengalami perubahan bentuk saat dikenai medan listrik. Efek piezoelektrik merupakan karakteristik yang bersifat timbal balik. Saat bahan piezoelektrik mengalami gaya mekanis, posisi atom atau ion bermuatan dalam struktur kristal bergeser, yang menyebabkan timbulnya potensial listrik atau tegangan pada bahan tersebut [9].

Efek piezoelektrik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu efek piezoelektrik langsung dan Efek tidak langsung. Efek langsung terjadi ketika tekanan mekanik pada bahan menimbulkan muatan listrik, yang diaplikasikan dalam alat seperti sensor dan transduser. Sebaliknya efek terbalik terjadi saat bahan piezoelektrik diberi medan listrik, sehingga bahan tersebut berubah bentuk, yang dimanfaatkan pada aktuator dan motor listrik [10].

Bahan Barium Titanat memiliki transformasi fasa untuk perubahan suhu seperti gambar dibawah ini.

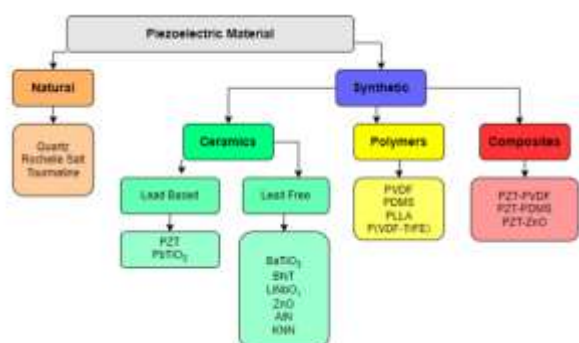


**Gambar 3** transformasi fasa pada barium titanat untuk perubahan suhu [11].

Pada gambar nomor 3 menjelaskan tentang transformasi fasa untuk perubahan suhu pada material piezoelektrik dan material atap sehingga bisa di ketahui suhu atap pada piezoelektrik.

Material piezoelektrik ditemukan pada bahan yang tidak memiliki pusat simetri dan memiliki momen dipol total yang tidak sama dengan nol. Material ini beroperasi dalam tiga mode, salah satunya adalah mode d33 atau mode ini cocok digunakan untuk aplikasi seperti pemanenan energi piezoelektrik mode lainnya. Mode d33 merupakan mode dimana arah polarisasi dan tegangan saling tegak lurus mode ini sering digunakan pada aplikasi sensor. Selain itu ada mode operasi ketiga yang penting, yaitu mode d15 atau mode geser, dimana deformasi terjadi akibat gaya geser pada bahan piezoelektrik [12].

Material piezoelektrik dibagi menjadi berbagai klasifikasi sebagai perbandingan untuk beberapa penelitian. Seperti gambar dibawah ini (14).



**Gambar 4** Klasifikasi bahan material piezoelektrik [6].

Gambar no 4 menunjukan spesifikasi terkait material piezoelektrik yang cocok untuk digunakan pada atap.

### 1. Piezoelectric Ceramics

Keramik piezoelektrik banyak digunakan dalam berbagai aplikasi berkat sifat piezoelektriknya yang unggul, ketahanan dan stabilitasnya. Bahan piezoelektrik memiliki berbagai struktur kristal.

Bahan kristal tunggal dan polikristalin dapat dibedakan satu sama lain. Karena tidak adanya batas butir, potensi untuk memanfaatkan sifat anisotropik yang kuat. Namun karena biaya produksinya yang lebih besar, ketangguhan yang rendah, serta tingkat redaman yang tinggi, keramik piezoelektrik lebih sering digunakan umumnya. Keramik piezoelektrik adalah senyawa berbasis ti, bal dengan struktur perosvkit. Di antara berbagai material yang ada, timbal zirkonat titanat (PZT) merupakan yang paling luas pemakaiannya. PZT banyak dipilih karena memiliki kemampuan konversi energi mekanik ke energi yang tinggi akibat konstanta piezoelektriknya yang besar serta koefisien kopling elektromekanis yang sangat baik. Dengan suhu curie mencapai 350. Material ini juga dapat beroperasi dengan stabil pada suhu tinggi [6].

### 2. Polimer Piezoelektrik

Merupakan salah satu jenis material piezoelektrik yang kegunaannya masih relatif terbatas. Bahan ini dapat dibedakan menjadi tiga kelompok utama, yaitu pelimer curah, polimer komposit piezoelektrik dan polimer menuangkan hampa, jenis pilomer curah yang umum digunakan meliputi PVDV, poliamida, serta polivinilidena klorida. Sebagian besar antara material ini bersifat organik. Sementara itu, komposit piezoelektrik adalah polimer yang dipadukan dengan material piezoelektrik anorganik, sehingga menggabungkan keunggulan dari kedua jenis bahan tersebut. Adapun polimer yang mengisi rongga hampa atau dikenal juga sebagai polmer berpori atau selular memiliki rongga gas di dalamnya. Rongga ini memungkinkan munculnya efek piezoelektrik ketika permukaan polimer di sekitar gas tersebut menghasilkan listrik. Jenis gas yang digunakan dapat berupa N2 CO2 dan sebagainya, masing masing memberikan karakteristik yang berbeda. Pemilihan jenis gas serta metode pengisian rongga merupakan dua faktor utama yang mempengaruhi sifat piezoelektrik pada jenis polimer ini [13].

### 3. Kristal Tunggal

Kristal tunggal piezoelektrik terdiri atas kristal alami dan kristal sintetis. Contoh kristal alami meliputi kuarsa dan garam rochelle, sedangkan kristal sintetis antara lain PMN-PT, PIN-PT dan PZN-PT sifat piezoelektrik pada kristal alami muncul secara alami dari pertumbuhan strukturnya, sementara pada relaksor feroelektrik seperti PMN-PT, efek tersebut dihasilkan melalui rekayasa buatan. Sejak pertengahan tahun 1990 relaksor feroelektrik mulai menarik perhatian besar karena kemajuan teknologi pertumbuhan kristal tunggal telah memungkinkan pencapaian koefisien piezoelektrik yang sangat tinggi

Parl dan Shrout melaporkan bahwa kristal PMN-PT dan PZN-PT memiliki nilai koefisien piezoelektrik  $d_{33}$  hingga 2500 pC/n dan faktor elektromekanis  $k_{33}$  lebih dari 90% rekannya berhasil mengembangkan kristal tunggal PMN-PT yang di dorong dengan unsur samarium dengan koefisien piezoelektrik  $d_{33}$  mencapai 3400-41—pC/N. Meskipun kinerjanya sangat baik, material ini memiliki biaya produksi yang tinggi serta proses sintesis yang kompleks. Selain itu beberapa material yang mewakili kelompok keramik piezoelektrik antara lain barium titanat ( $\text{BaTiO}_3$ ), alumunium nitrida, dan timbal zirkonat titanat. Efek piezoelektrik sendiri dapat dijelaskan sebagai perubahan keseimbangan ion dan terbentuknya momen dipol kristal yang tidak nol akibat pergerakan ion ketika material mengalami tekanan mekanis [14]. Adapun gambar perbandingan pada material piezoelektrik [13].

Table 3 Piezoelectric coupling coefficients of different piezoelectric inorganic and organic materials

| Compound  | Material         | Type           | Piezoelectric constant |                 | Ref. |
|-----------|------------------|----------------|------------------------|-----------------|------|
|           |                  |                | $d_{33}$ (pC/N)        | $d_{31}$ (pC/N) |      |
| Inorganic | α-Quartz         | Single crystal | 2.31                   | —               | [37] |
|           | $\text{LiNbO}_3$ |                | 6                      | —1              | [37] |
|           | PMN-PT           |                | 2500                   | —               | [42] |
|           | PEEN-PT          |                | 2455                   | —1204           | [40] |
|           | PZN-PT           |                | 1600                   | —               | [41] |
|           | ADN              | Ceramic        | 5.5                    | —2.0            | [47] |
|           | $\text{BaTiO}_3$ |                | 191                    | —79             | [39] |
|           | PZT-5A           |                | 374                    | —171            | [40] |
| Organic   | PZT-5H           |                | 630                    | —320            | [35] |
|           | PVDF             | Polymer        | 25                     | —               | [36] |
|           | Polyimide        |                | 2.5-16.5               | —               | [53] |

Gambar 5 klasifikasi pada material piezoelektrik. [13]

## 5 SIFAT LISTRIK PADA BAHAN BARIUM TITANAT

Barium titanat merupakan keramik dengan performa kelistrikan yang sangat unggul [15]. Sehingga menjadi kandidat utama untuk berbagai aplikasi berkat sifat dielektriknya yang menonjol. Sifat feroelektriknya sangat erat kaitannya dengan struktur domain serta pergerakan domain di dalam material tersebut. Struktur domain sendiri mulai terbentuk selama transisi fase dari kubik ke tetragonal di temperatur curie. Jenis dan konfigurasi domain yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh aditif yang digunakan dan mikrostruktur selama proses *sintering*, material yang homogen dan grain berukuran kecil dengan struktur domain tunggal akan menghasilkan sifat feroelektrik barium titanat yang lebih konsisten dan stabil. Perubahan pada kristalografi maupun pengaruh tegangan eksternal sangat memengaruhi bentuk domain, dengan ukuran grain menjadi salah satu faktor penentu ukuran domain. Pada fase tetragonal, terdapat dua jenis domain *wall* yang terbentuk.

## 6 KARAKTERISTIK DAN PARAMETER KINERJA PIEZOELEKTRIK

Karakteristik piezoelektrik dan parameter kinerja terdapat terhadap materialnya yang tergolong sebagai salah satu bahan pintar karena mampu menghasilkan potensi listrik ketika mendapatkan tegangan mekanik, serta mengalami perubahan bentuk atau durasi saat diberi medan listrik, dibandingkan dengan material piezoelektrik PZT yang berasal dari kristal tunggal atau keramik PVDV memiliki sejumlah keunggulan yang bersifat getas, memiliki suhu leleh rendah, densitas tinggi, serta biaya produksi yang besar sehingga penerapannya terbatas, terutama pada permukaan yang melengkung atau bersudut, dan sulit terbentuk sesuai kebutuhan aplikasi [16]. Sebaliknya material PVDV bersifat fleksibel, ringan, kuat, mudah dibentuk ke dalam berbagai geometri kompleks, serta tahan terhadap benturan keras. Selain sebagai material piezoelektrik PVDV memiliki sifat piezoelektrik, yaitu kemampuannya mengubah energi panas dari foton inframerah menjadi energi listrik melalui perubahan muatan permukaannya. Dengan sifatnya ini, PVDV dapat berfungsi tidak hanya sebagai sensor mekanis, tetapi juga sebagai sensor atau detektor inframerah [17].

Karakteristik material aktif menjadi aspek penting untuk memahami respon bahan terhadap berbagai perlakuan. Oleh karena itu dilakukan untuk mempelajari melalui berbagai perlakuan, seperti variasi luas dan ketebalan bahan, pembebanan lentur, tumbukan, penerapan medan listrik atau tegangan serta pemberian sumber panas [18].

## 7 KONVERSI ENERGI MENGGUNAKAN PIEZOELEKTRIK

Kebutuhan energi Indonesia terus meningkat seiring pesatnya perkembangan teknologi, industri dan informasi. Peningkatan konsumsi energi dan pengurangan cadangan energi fosil menuntut Indonesia untuk mengembangkan sumber energi alternatif, khususnya energi terbarukan [19]. Berbagai bentuk energi terbarukan seperti angin, air kini mulai dikembangkan. Salah satunya yaitu energi yang muncul dari getaran yang merambat melalui udara, udara, atau lainnya [20]. Berdasarkan frekuensi, energi suara dibagi menjadi tiga jenis, infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik. Memiliki frekuensi kurang dari 20 getaran per detik sehingga tidak terdengar oleh manusia, audiosonik adalah suara yang dapat kita dengar, sedangkan ultrasonik memiliki frekuensi di atas 20.00 getaran per detik [21].

Piezoelektrisitas fenomena ketika gaya mekanik yang diberikan pada suatu bahan menghasilkan muatan listrik di permukaannya akibat redistribusi muatan dalam struktur kristalnya. Koefisien muatan piezoelektrik biasanya berada pada kisaran 1-100 per newton [22].

Beberapa jenis teknologi baterai yang banyak dikenal antara lain baterai timbal asam, alkalin, nikel-besi. Setiap jenis baterai memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri baik dari sisi teknis maupun ekonomi [23]. Di antara jenis jenis tersebut baterai lead acid yang digunakan dalam system pembangkit tenaga surya memiliki karakteristik berbeda dengan baterai lead acid yang digunakan untuk menyalakan mesin, seperti baterai kendaraan bermotor. Terdapat perbedaan antara baterai yang berfungsi sebagai penyimpan energi utama dengan baterai yang digunakan sebagai buffer atau penstabil tegangan. Sementara itu [19].

Piezoelektrisitas fenomena dimana suatu bahan dapat menghasilkan muatan listrik ketika diberikan tekanan mekanik, akibat distribusi muatan pada struktur kristalnya. Nilai koefisien muatan piezoelektrik biasanya berada dalam 1-100 pico coulomb per newton yang berarti tekanan electic yang berarti listrik [24].

Pemanenan energi dari sumber sumber sekitar, seperti tenaga surya, angin termal, suara, getaran, dan limbah padat, kini semakin diminati seiring meningkatnya kebutuhan akan daya. Permintaan terhadap teknologi pemanenan daya terus meningkat, terutama dengan memanfaatkan material piezoelektrik sebagai mekanisme untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi getaran yang dihasilkan dari lingkungan sekitar dapat diubah menjadi listrik, kemudian disimpan dan digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik, sehingga menjadi fokus penelitian yang semakin penting. Kebutuhan akan rangkaian konversi daya untuk aplikasi pemanenan energi pun turut meningkat. Sebelumnya, penelitian mengenai pemanenan energi dari getaran masih terbatas [25]. Energi getaran merujuk pada energi yang diambil dari gerakan mekanis, yang biasanya memerlukan konverter untuk mengubah gerakan tersebut menjadi listrik guna memberi daya pada sistem elektronik. Selain efek piezoelektrik, metode ini untuk mengekstrak daya dari getaran meliputi efek elektrostatis dan efek elektromagnetik [26]. Konversi energi getaran dapat berasal dari sumber seperti tubuh manusia atau mesin. Beberapa material, seperti keramik dan kristal, memiliki kemampuan menghasilkan potensial listrik ketika diberi tekanan mekanis. Pemanenan energi getaran berbasis

piezoelektrik menarik karena transduser piezoelektrik relatif sederhana dan mudah diimplementasikan dalam berbagai aplikasi, dibandingkan metode elektrostatis dan elektromagnetik [27]. Transduser merupakan komponen utama dalam teknologi pemanenan piezoelektrik dapat menerapkan pendekatan multifungsi dengan mengintegrasikan beberapa fungsi dalam satu perangkat, seperti pemanenan energi, penyimpanan energi, dan kemampuan struktural untuk menahan beban. Jika dikombinasikan dengan struktur induktif, pendekatan ini dapat menghasilkan sistem yang lebih efektif. Penerapan multifungsi pada sistem pemanenan energi berpotensi meningkatkan nilai dan fungsionalitasnya, serta mendorong integrasi sistem pemanenan energi ke dalam berbagai aplikasi teknik [3].

## 8 PENERAPAN PIEZOELEKTRIK DALAM TEKNOLOGI

Secara global permintaan terhadap metode pembangkit energi berkelanjutan terus meningkat. Kondisi ini menjadi peluang besar bagi berkembangnya negara yang memiliki potensi sumber daya terbarukan berlimpah seperti tenaga angin dan surya. Serta ketergantungan yang lebih rendah pada energi konvensional. Penurunan biaya teknologi energi terbarukan seperti angin dan surya menempatkan negara-negara tersebut pada posisi strategis untuk segera mengadopsinya.

Sumber energi tradisional seperti batu bara, nuklir, dan gas alam umumnya menggunakan generator sinkron berukuran besar untuk menghasilkan listrik AC yang stabil namun, menurunnya ketersediaan sumber daya dan dampak lingkungan menyebabkan sumber energi tersebut semakin kehilangan dukungan. Akibatnya perhatian global beralih ke sumber energi alternatif yang lebih bersih dan andal. Selain penelitian tentang pemanenan energi dari getaran mekanik, penelitian terbaru mulai menyoroti pemanfaatan energi dari tumbukan melalui tetesan air hujan sebagai pendekatan baru dalam pembangkitan energi terbarukan [28]. Di wilayah beriklim tropis dan sedang, curah hujan yang melimpah membuka peluang besar untuk memanfaatkan energi kinetiknya. Berbeda dengan tenaga surya dan angin yang bergantung pada kondisi geografisnya dan cuaca, curah hujan dapat lebih konsisten di wilayah tertentu, menjadikannya sumber energi yang stabil. Metode inovatif ini menggunakan material piezoelektrik untuk mengubah energi mekanik dari tetesan hujan menjadi energi listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian terkait pemanenan energi piezoelektrik telah mencakup

berbagai sumber energi dan konfigurasi sistem untuk meningkatkan efisiensi. Banyak penelitian yang meneliti sumber energi seperti getaran manusia, mesin atau jembatan danfan menggunakan konfigurasi tunggal maupun kompleks. Berbeda dari konfigurasi kompleks tersebut, susunan seri murni yang digunakan dalam inovasi ini lebih sesuai untuk menangkap energi dari sumber berintensitas rendah seperti curah hujan [29].

Hujan merupakan salah satu kekuatan alam yang selama ini dikenal kerana mempertahankan kehidupan. Di balik sifatnya yang tampak tersebut, proses dinamis berupa energi kinetik yang muncul saat tetesan air hujan mengenai berbagai permukaan. Gagasan untuk mengubah energi kinetik ini menjadi energi listrik melalui pemanfaatan bahan piezoelektrik menghadirkan solusi inovatif dalam upaya menghadapi tantangan kebutuhan energi global [16].

Fenomena piezoelektrik kemampuan material tertentu menghasilkan muatan listrik ketika dikenai tekanan mekanik, telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang, mulai dari perangkat elektronik hingga teknologi pemanenan energi. Penerapan prinsip ini pada pemanenan energi dari hujan membuka peluang baru untuk memanfaatkan energi mekanik dari tumbukan tetesan dari atas seperti atap, trotoar, atau struktur buatan lainnya [30].

Inovasi ini menjadi langkah awal dalam memperluas cakupan studi sebelumnya dengan pemanenan seperti angin, suara, dan getaran. Inovasi ini pun menggunakan seri dan paralel untuk menghasilkan listrik ketika tetesan hujan menumbukan atap melalui piezoelektrik sebagai penghantarnya. Pemilihan konfigurasi susunan yang optimal diharapkan dapat menghasilkan sistem pemanenan energi hujan yang lebih efisien, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengembangan energi ramah lingkungan dan mandiri di masa depan [31].

Media untuk menghasilkan listrik pada piezoelektrik energi hujan ialah atap adalah komponen penting dari suatu bangunan yang berfungsi melindungi bagian dalam dari paparan panas matahari dan hujan udara sehingga menciptakan kenyamanan bagi penghuninya. Umumnya kontruksi atap rumah di Indonesia menggunakan bahan dasar tanah liat, serta alternatif lain seperti beton, bitumen, kayu keras, dan lembaran baja tipis yang bentuknya menyerupai genteng. Secara ideal atap rumah memiliki sudut kemiringan 30 derajat. Pada sejumlah penelitian sebelumnya, material piezoelektrik dimanfaatkan untuk mengubah energi getaran yang ditumbulkan oleh beban mekanis dari kendaraan bermotor. Selain itu piezoelektrik juga

di uji menggunakan alat berbasis motor DC yang di lengkapi mekanisme pengubah gerakan rotasi menjadi gerakan vertikal. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi luas permukaan pada perangkat piezoelektrik.

Seiring dengan kemajuan teknologi, muncul ide untuk memanfaatkan getaran yang terjadi pada penampang atap rumah akibat tekanan air hujan dan mengubahnya menjadi energi listrik menggunakan alat piezoelektrik. Diharapkan alat tersebut dapat dijadikan sumber energi terbarukan yang berpotensi membantu memenuhi kebutuhan energi [32]. Adapun gambar konsep mengenai atap hujan piezoelektrik.



**Gambar 6** pola pikir mengenai atap hujan piezoelektrik. [32]

## 9 OPTIMASI KETEBALAN PIEZOELEKTRIK UNTUK PEMANENAN ENERGI HUJAN

Pengembangan pemanenan energi berbasis getaran aeroelastis semakin meningkat, terutama yang memanfaatkan fenomena galloping. Galloping merupakan salah satu bentuk ketidakstabilan aeroelastis klasik yang ditandai dengan osilasi berfrekuensi rendah namun memiliki amplitudo besar. Fenomena ini muncul akibat interaksi antara gaya aerodinamik dan elastis. Karena menghasilkan osilasi dengan amplitudo tinggi, galloping dianggap potensial untuk dimanfaatkan dalam sistem pemanen energi piezoelektrik [33]. Pada sistem pemanen energi yang bekerja berdasarkan getaran galloping, sebuah batang prisma dengan massa tertentu dipasang pada ujung bebas balok kantilever piezoelektrik [34]. Osilasi terjadi pada bidang tegak lurus arah aliran udara, dan

energi listrik. Dihasilkan dari regangan dinamis yang dialami oleh lembaran piezoelektrik pada struktur kantiveler tersebut. Sistem ini telah banyak diteliti, menggunakan batang kantiveler berlapis piezoelektrik dengan massa ujung berupa batang prismatik berbentuk segitiga sama sisi [10].

## 10 PENUTUP

Review jurnal ini membahas optimasi ukuran dan ketebalan material piezoelektrik dalam proses pemanenan energi hujan pada atap bangunan sebagai alternatif sumber energi listrik. Berdasarkan kajian pustaka, ditemukan bahwa variasi ukuran serta ketebalan piezoelektrik memiliki pengaruh yang nyata terhadap daya keluaran dan efisiensi konversi energi. Dimensi pada atap piezoelektrik yang dibuat secara tepat untuk mampu meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan dari tekanan tetesan air hujan.

Material piezoelektrik seperti barium titanat dan PVDV terbukti memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan. Penerapan sistem ini pada struktur atap bangunan bisa menjadi langkah inovatif dalam mendukung EBT, terutama di kawasan tropis dengan curah hujan tinggi seperti Indonesia [34].

Review jurnal ini yang ingin dikembangkan untuk diarahkan kepada penelitian disarankan pengintegrasian sistem penyimpanan energi. Pengujian ketahanan material terhadap kondisi lingkungan nyata, serta penerapan teknologi pada skala bangunan kecil terlebih dahulu agar dikembangkan lebih lanjut tentang penerapan atap pada piezoelektrik ini. Dengan pengembangan yang tepat, sistem pemanenan energi hujan berbasis piezoelektrik berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang efisien, berkelanjutan, dan fungsional bagi kebutuhan masyarakat modern.

## KEPUSTAKAAN

- [1] W. C. Widodo, Windarta, R. D. Nur'aini, and F. Maghfurah, "Pengaruh Variasi Curah Hujan dan Sudut Kemiringan terhadap Daya Keluaran pada Alat Uji Piezoelektrik," *Pros. Semin. Nas. LPPM UMJ*, no. November, pp. 2745–6080, 2024, [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- [2] A. Kiswantono and A. Irwan, "Inovasi Energi Hijau: Piezoelektrik Untuk Mengubah Getaran Kendaraan Menjadi Listrik," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 12, no. 3, pp. 1829–1835, 2024.
- [3] T. S. Shakthivel and R. G. Burela, "Vibration Based Piezoelectric Energy Harvesting," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 852, pp. 846–851, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.852.846.
- [4] N. Sezer and M. Koç, "A comprehensive review on the state-of-the-art of piezoelectric energy harvesting," *Nano Energy*, vol. 80, no. October 2020, p. 105567, 2021, doi: 10.1016/j.nanoen.2020.105567.
- [5] S. D. R. Julius, Hananto F. S., "Application of Piezoelektrik Material Film PVDV (Polyvinylidene Flouride) As Liquid Viscosity Sensor," *J. Neutrino*, vol. 3, no. 2, pp. 129–142, 2012, doi: 10.18860/neu.v0i0.1648.
- [6] D. Almada, E. Dermawan, A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and A. N. Fajar, "Analisis Desain Optimum Model Piezoelektrik Pvdv Untuk Sumber Pembangkit Listrik Air Hujan Berskala Mini," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. 2015*, no. November 2015, pp. 1–5, 2015, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslek/article/viewFile/493/459>
- [7] M. Habib, I. Lantgios, and K. Hornbostel, "A review of ceramic, polymer and composite piezoelectric materials," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 55, no. 42, 2022, doi: 10.1088/1361-6463/ac8687.
- [8] C. I. Pîrvu, A. Sover, and M. Abrudeanu, "Participation of Polymer Materials in the Structure of Piezoelectric Composites," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 24, 2024, doi: 10.3390/polym16243603.
- [9] L. Paralı, "The output performance evaluations of multilayered piezoelectric nanogenerators based on the PVDF-HFP/PMN-35PT using various layer-by-layer assembly techniques," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 35, no. 11, pp. 1–20, 2024, doi: 10.1007/s10854-024-12557-w.
- [10] M. Ali, M. J. Bathaei, E. Istif, S. N. H. Karimi, and L. Beker, "Biodegradable Piezoelectric Polymers: Recent Advancements in Materials and Applications," *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 12, no. 23, pp. 1–32, 2023, doi: 10.1002/adhm.202300000.

- 10.1002/adhm.202300318.
- [11] S. R. Adnan, B. Kurniawan, and B. Soegijono, "Tinjauan Pengembangan Material Berbasis Barium Titanat, Komposit PvdF/Batio3 Dan Batio3/Hap Untuk Aplikasi Electrostatic Dielectric Energy Storage Capacitor," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 649–676, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i2.1423.
- [12] A. I. Auni *et al.*, "Development Of piezoelectric based sensors for structural," vol. 1, no. 1, pp. 43–53, 2025.
- [13] X. Zhou *et al.*, "Review on piezoelectric actuators: materials, classifications, applications, and recent trends," *Front. Mech. Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–29, 2024, doi: 10.1007/s11465-023-0772-0.
- [14] E. Brusa, A. Carrera, and C. Delprete, "A Review of Piezoelectric Energy Harvesting: Materials, Design, and Readout Circuits," *Actuators*, vol. 12, no. 12, 2023, doi: 10.3390/act12120457.
- [15] D. Grzybek and P. Micek, "Impact of series and parallel connection of macro fiber composite patches in piezoelectric harvester on energy storage," *Energies*, vol. 14, no. 9, 2021, doi: 10.3390/en14092379.
- [16] Y. Arimurti, Y. Radiyono, and S. Surantoro, "Studi Awal Implementasi Transduser Piezoelektrik sebagai Piranti Pemanen Energi pada Lantai," *J. Ilmu Fis. | Univ. Andalas*, vol. 12, no. 2, pp. 89–97, 2020, doi: 10.25077/jif.12.2.89-97.2020.
- [17] M. Moreno, J. A. Morales-Viscaya, M. X. Cuevas-Gayosso, J. G. Parada-Salado, and F. J. Perez-Pinal, "Optimized equivalent circuit models for series-parallel configurations of piezoelectric transducers in energy harvesting," *PLoS One*, vol. 20, no. 6 June, pp. 1–20, 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0323682.
- [18] D. Prananto and L. Mawarani, "Karakterisasi Smart Material Polyvinylidene Fluoride (PVDF) sebagai Transduser Piezoelektrik," *ITS Online Libr.*, no. January 2010, pp. 1–2, 2010.
- [19] R. M. Syriac, A. B. Bhasi, and Y. V. K. S. Rao, "A review on characteristics and recent advances in piezoelectric thermoset composites," *AIMS Mater. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 772–787, 2020, doi: 10.3934/MATERSCI.2020.6.772.
- [20] S. R. Anton and H. A. Sodano, "A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003-2006)," *Smart Mater. Struct.*, vol. 16, no. 3, 2007, doi: 10.1088/0964-1726/16/3/R01.
- [21] Y. Meng, G. Chen, and M. Huang, "Piezoelectric Materials: Properties, Advancements, and Design Strategies for High-Temperature Applications," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 7, 2022, doi: 10.3390/nano12071171.
- [22] E. Wijanto, B. Harsono, R. Renandy, A. Septian, and K. Sutanto, "Pengujian Sistem Konversi Energi Suara menjadi Energi Listrik menggunakan Piezoelektrik," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 17, no. 01, pp. 59–67, 2018, doi: 10.31358/techne.v17i01.172.
- [23] A. Erturk and D. J. Inman, "An experimentally validated bimorph cantilever model for piezoelectric energy harvesting from base excitations," *Smart Mater. Struct.*, vol. 18, no. 2, 2009, doi: 10.1088/0964-1726/18/2/025009.
- [24] K. Kusnandar, Ni Ketut Hariyawati Dharmi, and A. N. Khairiyah, "Rancang Bangun Purwarupa Energy Harvesting menggunakan Piezoelektrik sebagai Pembangkit Energi Listrik," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 20, no. 2, pp. 125–135, 2021, doi: 10.26874/jt.vol20no2.383.
- [25] S. Roundy, P. K. Wright, and J. Rabaey, "A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes," *Comput. Commun.*, vol. 26, no. 11, pp. 1131–1144, 2003, doi: 10.1016/S0140-3664(02)00248-7.
- [26] H. S. Kim, J. H. Kim, and J. Kim, "A review of piezoelectric energy harvesting based on vibration," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 12, no. 6, pp. 1129–1141, 2011, doi: 10.1007/s12541-011-0151-3.
- [27] F. Viola, P. Romano, R. Miceli, G. Acciari, and C. Spataro, "Piezoelectric model of rainfall energy harvester," *2014 9th Int. Conf. Ecol. Veh. Renew. Energies, EVER 2014*, 2014, doi: 10.1109/EVER.2014.6844093.

- [28] S. Mahboubizadeh, S. T. Dilamani, and S. Baghshahi, "Piezoelectricity performance and  $\beta$ -phase analysis of PVDF composite fibers with BaTiO<sub>3</sub> and PZT reinforcement," *Heliyon*, vol. 10, no. 3, p. e25021, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25021.
- [29] S. Salimin, S. N. N. Azmi, A. F. M. Nor, M. N. Ismail, and R. Hamdan, "Experimental Validation of Piezoelectric Series Array Configuration for Energy Harvesting from Rainfall," *J. Adv. Res. Exp. Fluid Mech. Heat Transf.*, vol. 19, no. 1, pp. 68–75, 2025, doi: 10.37934/arefmht.19.1.6875.
- [30] Arief, Jotje, and Benny, "Pemanen Energi Listrik Dari Curah Hujan Melalui Transduser Piezoelektrik Secara Seri Dan Paralel," *J. Poros Tek. Mesin Unsrat*, vol. 12, pp. 1–12, 2022.
- [31] S. N. N. Azmi and S. Salimin, "Harvesting Energy from Rainfall: Initial Study by Exploring Diverse Piezoelectric Array Configurations for Enhanced Electricity Generation in Proteus Software," *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 123, no. 1, pp. 44–55, 2024, doi: 10.37934/ARAM.123.1.4455.
- [32] D. Pratama, I. Qiram, and A. Mukhtar, "Pengaruh Sudut Kemiringan Dan Jenis Material Atap Terhadap Tegangan Listrik Yang Dihasilkan Piezoelektrik," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 6, no. 2, pp. 71–74, 2021, doi: 10.36526/v-mac.v6i2.1521.
- [33] X. Wang *et al.*, "Research trends of piezoelectric materials in neurodegenerative disease applications," *Bioact. Mater.*, vol. 52, no. April, pp. 366–392, 2025, doi: 10.1016/j.bioactmat.2025.06.022.
- [34] J. Liu, G. Tian, W. Yang, and W. Deng, "Recent progress in flexible piezoelectric devices toward human-machine interactions," *Soft Sci.*, vol. 2, no. 4, 2022, doi: 10.20517/ss.2022.23.