

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Latar Belakang Tanaman**

Tanaman adalah suatu jenis organisme (terutama tumbuhan) yang umum ditanam oleh orang. Pengertian tanaman sering dibedakan dengan tumbuhan, meskipun tidak sering pula tanaman dan tumbuhan digunakan secara bergantian. Tanaman merupakan makhluk hidup penting yang tak bisa terpisahkan dengan kehidupan manusia. Air adalah sebuah kebutuhan untuk pertumbuhan tanaman. Tanpa perawatan intensif akan mengakibatkan kematian pada tanaman. Maka dari itu tanaan harus di rawat dengan baik untuk memperbaiki pertumbuhannya. Tanaman yang baik harus diikuti dengan kebutuhan air yang cukup dan baik. Terlalu basah atau kering maka akan mengakibatkan kerusakan pada tanaman tersebut Tanaman juga ada yang berkembang biak secara alami tanpa adanya campur tangan dari manusia. Sebagian besar tumbuhan berwarna hijau seperti tanaman venus fly trap dan putri malu memiliki gerak yang unik yaitu gerakan cepat terhadap sentuhan dan menutup jika terkena sentuhan.

##### **2.1.1 Tanaman Putri Malu (*Mimosa Pudica*)**

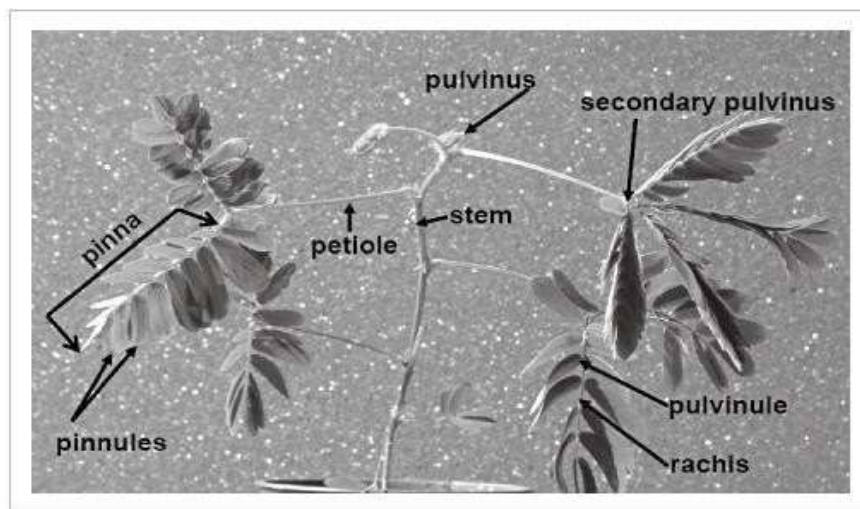
Beberapa spesies tumbuhan dapat bergerak cepat sebagai respons terhadap berbagai stimulus (misalnya sentuhan). Salah satu spesies tumbuhan tersebut, *Mimosa pudica* L., memiliki organ motorik pulvinus di persimpangan selebaran-rachilla, rachilla-petiole, dan tangkai daun, dan dengan stimulus mekanis, organ ini segera menutup selebaran dan menggerakkan tangkai daun.[3]. Tanaman *Mimosa Pudica* adalah tanaman thigmonastic atau seismonastic yang daunnya menutup dan tangkai daunnya menggantung sebagai respon terhadap stressor tertentu seperti cedera, angin, getaran, sentuhan, stimulus.[4]. Gerakan thigmonastik atau seismonastik, seperti respons terhadap sentuhan, tampaknya diatur oleh transduksi sinyal listrik dan kimiawi, yang menyebarkan stimulus ke seluruh tumbuhan.[5]. Salah satu hipotesis tersebut menyatakan bahwa gerakan thigmonastic *Mimosa*

*pudica* didukung oleh hilangnya tekanan turgor secara tiba-tiba di sel motor pulvinus di dasar setiap daun atau selebaran[6].

Putri malu atau *Mimosa pudica* adalah perdu pendek anggota suku polong-polongan yang mudah dikenal karena daun-daunnya yang dapat secara cepat menutup/*layu* dengan sendirinya saat disentuh. Walaupun sejumlah anggota polong-polongan dapat melakukan hal yang sama, putri malu bereaksi lebih cepat daripada jenis lainnya. Kelayuan ini bersifat sementara karena setelah beberapa menit keadaannya akan pulih seperti semula.

### 2.1.1.1 Gerak Tumbuhan Putri Malu

Di tanaman Mimosa yang sehat, Anda dapat mengamati dua respons "gerakan cepat" terhadap sentuhan. Dengan sentuhan ringan di sepanjang daun (disebut pinnules), daun terlipat menjadi satu pada titik-titik (pulvinules) di sepanjang tulang rusuk (rachis). Seperti yang terdapat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Bagian-bagian dari tanaman *Mimosa Pudica*[4]

Dengan sentuhan yang kuat, daun akan melipat dan cabang akan jatuh di sepanjang titik (pulvinus) tempat cabang utama (tangkai daun) bergabung dengan batang. Dengan sentuhan yang kuat, Potensi Aksi berjalan di sepanjang rachis, floem". Sifat pasti dari perambatan sinyal ini masih diselidiki secara aktif. Tapi bagaimana tanaman benar-benar bergerak? Karena tumbuhan tidak memiliki otot seperti kita, gerak tumbuhan terjadi melalui gaya hidrolik (aliran air).

Sel tumbuhan memiliki organ besar khusus yang disebut "vakuola" yang berisi air dan dapat membentuk 70-80% volume sel. Tumbuhan dengan demikian telah mengembangkan cara untuk dengan cepat memindahkan air masuk dan keluar dari vakuola melalui saluran transportasi khusus di dinding sel mereka yang disebut "aquaporin". Ini seperti saluran ion, tetapi bukannya membiarkan ion mengalir melintasi membran, mereka membiarkan aliran air yang cepat. Dengan demikian, tanaman yang mampu bergerak cepat mengeluarkan air dari sel-sel tertentu dengan cepat. Pengeluaran air seperti itu menyusutkan sel, dan penyusutan beberapa sel sekaligus, tergantung pada lokasi di tanaman, dapat menyebabkan tekanan mekanis yang menghasilkan gerakan cepat. Apa yang memulai gerakan air? Potensi Aksi itu sendiri! Pergerakan ion melintasi membran sel, yang menyebabkan Potensi Aksi yang kita amati, juga menciptakan ketidakseimbangan osmotik yang menghasilkan pergerakan air.

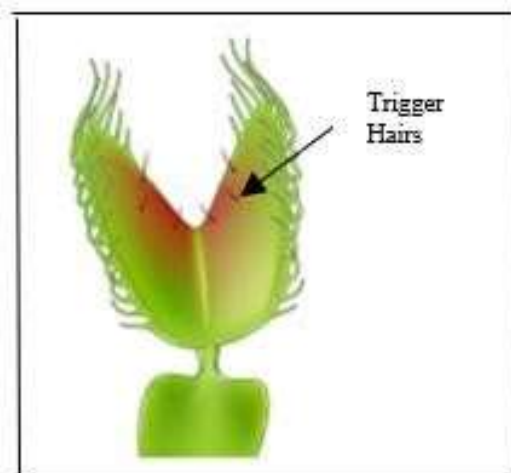
Potensi Aksi dimulai dengan peningkatan kadar kalsium intraseluler, yang bermuatan positif, membuat tegangan di dalam sel lebih positif. Peningkatan tegangan ini kemudian membuka saluran klorida sensitif tegangan, menyebabkan klorida mengalir keluar dari sel, membuat bagian dalam sel tumbuhan menjadi lebih positif. Menanggapi penghabisan klorida ini, saluran kalium kemudian terbuka untuk memungkinkan kalium juga mengalir keluar dari sel tumbuhan. Karena kalium bermuatan positif, ini mengembalikan potensial istirahat dan menyeimbangkan muatan klorida. Tetapi kita sekarang memiliki situasi ionik yang dapat dieksploitasi oleh sel tumbuhan: kelebihan ion klorida dan kalium sekarang berada di luar sel, atau, kita mengalami ketidakseimbangan osmotik. Melalui aquaporin, Air kemudian akan "mengejar" ion potasium dan klorin, menyebabkan sel tumbuhan kehilangan air dengan cepat, menyusut, dan akhirnya mengakibatkan pergerakan struktur tumbuhan yang cepat. Setelah sel menyusut, mereka dapat diisi ulang dengan air lagi dengan memindahkan ion klorida dan kalium kembali ke dalam sel, tetapi ini membutuhkan pengeluaran energi dan merupakan proses yang lebih lambat. Di Mimosa, dibutuhkan ~10 menit.

### **2.1.2 Tanaman Venus**

Penangkap Lalat Venus berasal dari rawa-rawa Carolina Utara, AS, dan hidup di tanah yang sangat miskin nutrisi dan tergenang air. Ini berfotosintesis seperti

tumbuhan lain, tetapi tidak selalu bisa mengandalkan sinar matahari untuk makanan. Untuk menambah persediaan makanannya, ia menjebak dan memakan serangga, mengekstraksi darinya nitrogen dan fosfor yang dibutuhkan untuk membentuk makanan nabati (asam amino, asam nukleat, dan molekul lainnya).

Tanaman perangkap lalat Venus ini terdiri dari 5–7 daun; setiap daun dibagi menjadi dua bagian. Daun bagian atas memiliki sepasang lobus trapesium yang disatukan oleh bilah atau pelepah. Pusat setiap lobus mengandung tiga atau lebih rambut pemicu sensitif dengan pigmen antosianin merah yang menarik serangga. Tepi setiap lobus dilapisi dengan tonjolan atau silia seperti rambut. Bagian bawah daun kadang-kadang disebut sebagai *footstalk*. Keenam rambut pemicu yang menonjol dari epidermis daun bagian atas penangkap lalat Venus bertindak sebagai sensor mekanis. Seperti yang terlihat pada gambar 2.2 sebagai berikut.



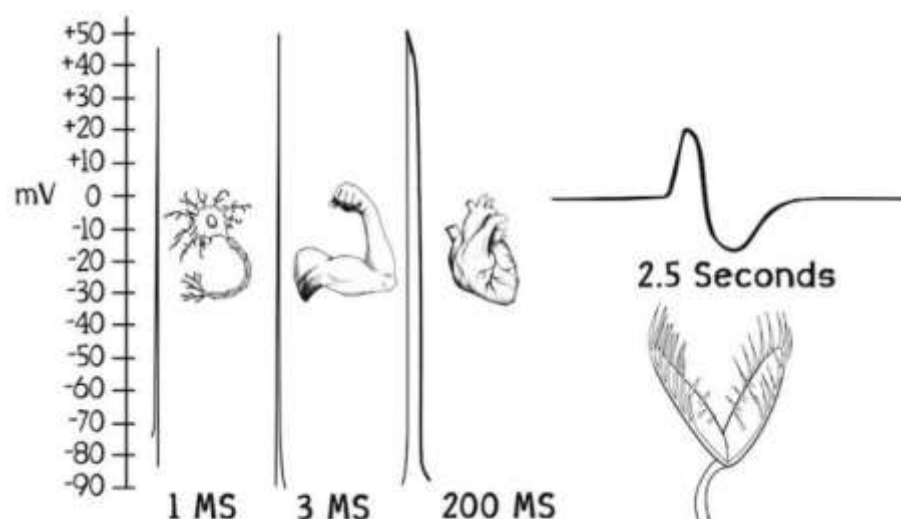
**Gambar 2.2** Tanaman Venus[7]

Saat serangga menyentuh rambut pemicu, sensor mekanis ini menghasilkan sinyal listrik yang bertindak sebagai potensial aksi, yang mengaktifkan sel motor. Macfarlane<sup>6</sup> menemukan bahwa dua stimulus mekanis yang diperlukan untuk penutupan perangkap harus diterapkan dalam interval 0,75–20 detik. Brown dan Sharp menemukan bahwa pada suhu tinggi 35–40°C biasanya hanya diperlukan satu stimulus mekanis [8]. Gerakan tigmonastik atau seismonastik, seperti respons terhadap sentuhan, tampaknya diatur oleh transduksi sinyal listrik dan kimiawi, menyebarkan stimulus ke seluruh tanaman [5]. Pergerakan tumbuhan atau bagian tumbuhan terjadi dalam berbagai ukuran dan skala waktu. Tumbuhan menunjukkan

gerak di semua skala dari pembukaan dan penutupan[9]. Potensi aksi direkam dengan menghubungkan elektroda ke salah satu lengan tuas logam dari sensor gaya rana dan memasukkan elektroda referensi ke dalam tanah. Untuk pengukuran AP satu elektroda dihubungkan ke tuas logam dan elektroda lainnya dimasukkan ke dalam tanah[10]. Potensial antara elektroda Ag/AgCl yang dimasukkan ke dalam perangkap, tangkai daun. Berbagai jenis elektroda dengan posisi berbeda di jaringan tanaman atau di tanah menunjukkan amplitudo dan durasi sinyal listrik yang berbeda karena potensinya diukur dalam sirkuit elektrokimia yang berbeda [11]

### 2.1.2.1 Gerak Tumbuhan Tanaman Venus Fly Trap

Jika Anda melihat lebih dekat pada Penangkap Lalat Venus, Anda akan melihat ia memiliki "Rambut Pemicu" yang sangat kecil di dalam daun perangkapnya Seperti yang terdapat pada gambar 2.2. Jika serangga yang bandel dan tidak menaruh curiga menyentuh rambut pemicu, Potensi Aksi terjadi di daun. Ini adalah Potensi Aksi yang berbeda dari yang biasa kita lihat di neuron, karena ini didasarkan pada pergerakan ion kalsium, kalium, dan klorida (vs. pergerakan kalium dan natrium seperti pada Potensi Aksi neuron dan otot), dan itu jauh lebih lama dari apapun yang pernah kita lihat sebelumnya.



**Gambar 2.3** Sinyal tegangan listrik pada makhluk hidup

Sumber

([https://backyardbrains.com/experiments/Plants\\_VenusFlytrap#prettyPhoto](https://backyardbrains.com/experiments/Plants_VenusFlytrap#prettyPhoto))

Jika rambut pemicu disentuh dua kali dalam 20 detik (menembakkan dua Potensi Aksi dalam 20 detik), jebakan akan tertutup. Perangkat tidak menutup karena aksi otot (tanaman tidak memiliki otot),

melainkan karena perubahan osmotik yang cepat dalam bentuk kelengkungan daun perangkap. Menariknya, pengaktifan Potensi Aksi tidak selalu dapat diandalkan, bergantung pada suhu, kesehatan tanaman, dan faktor lainnya.

Beberapa penelitian sebelumnya berfungsi untuk analisa dan memperkaya pembahasan penelitian, serta membedakannya dengan penelitian yang sedang dilakukan. Dalam penelitian ini disertakan beberapa jurnal internasional penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan sinyal listrik pada tanaman. Di antaranya adalah:

#### A. Sinyal Listrik pada Tanaman *Dionaea Muscipula* (Venus Fly Trap)

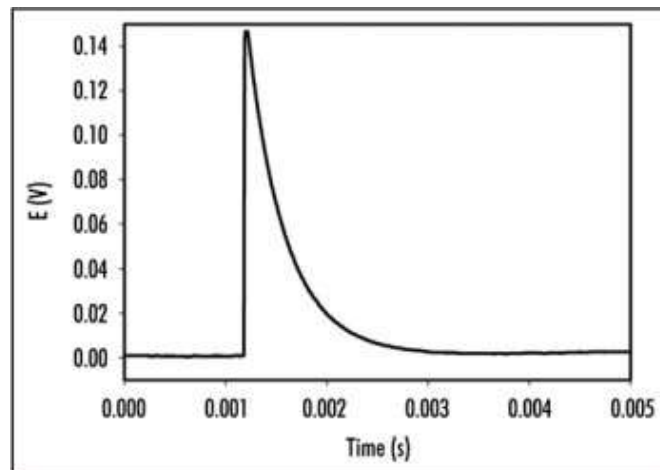
Penelitian dengan judul “Penutupan Penangkap Lalat Venus dengan Stimulasi Listrik Sel Motor”[12]. *Muscipula Dionaea* (penangkap lalat Venus) telah menarik perhatian para peneliti dan akibatnya mekanismenya telah banyak diselidiki. Tumbuhan kecil ini terdiri dari 5–7 daun setiap daun dibagi menjadi dua bagian. Bagian atas daun memiliki sepasang lobus berbentuk trapesium yang disatukan oleh bilah atau pelepah. Pusat setiap lobus mengandung tiga atau lebih rambut pemicu sensitif dengan pigmen antosianin merah yang menarik serangga. Tepi setiap lobus dilapisi dengan tonjolan atau silia seperti rambut. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 sebagai berikut.



**Gambar 2.4** Tanaman Venus[7]

Bagian bawah daun kadang-kadang disebut sebagai footstalk. Keenam rambut pemicu yang menonjol dari epidermis daun bagian atas penangkap lalat Venus bertindak sebagai sensor mekanis. Saat serangga menyentuh rambut

pemicu, sensor mekanis ini menghasilkan sinyal listrik yang bertindak sebagai potensial aksi, yang mengaktifkan sel motor. Macfarlane<sup>6</sup> menemukan bahwa dua stimulus mekanis yang diperlukan untuk penutupan perangkat harus diterapkan dalam interval dari 0,75–20 detik.



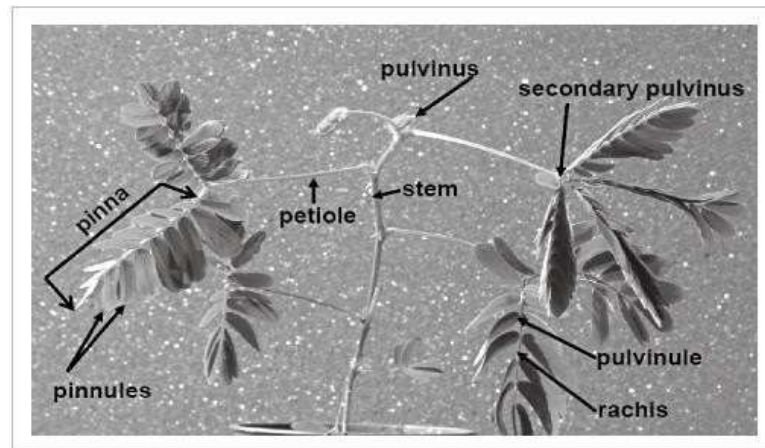
**Gambar 2.5** Sinyal Listrik Pada Tanaman Venus Fly Trap [12]

Potensi aksi yang diinduksi pada penangkap lalat Venus oleh kedamaian gelatin yang merangsang rambut pemicu tunggal. Satu elektroda Ag/AgCl (+) terletak di pelepah dan elektroda Ag/AgCl kedua (-). Sinyal listrik AP yang diinduksi oleh stimulasi mekanis dari rambut pemicu. Kemudian, pensinyalan listrik dengan menghasilkan pulsa listrik serupa menggunakan stimulator listrik yang dikembangkan khusus. Potensi aksi merambat dari rambut pemicu mekanosensitif lobus ke pelepah di bagian atas daun, seperti yang disajikan pada (gambar 2.5). Ini menampilkan lonjakan tajam, diikuti dengan kembalinya secara bertahap ke keadaan istirahat semula. Pensinyalan listrik juga direkam antara pelepah atau lobus dan bagian bawah daun. dalam percobaan kontrol, disini memasukkan dua pasang elektroda Ag/AgCl. AP tanaman awalnya meningkat dan memuncak pada  $\pm 0.14\text{V}$  atau sama dengan 140 mV. Setelah memuncak, AP mulai menurun namun, penurunan ini berhenti pada tingkat mV yang berbeda di setiap pabrik. [12]

#### **B. Sinyal Listrik Pada Tanaman Mimosa Pudica (Putri Malu)**

Penelitian dengan judul “Anisotropi mekanik dan listrik di dalam *Mimosa pudicapulvini*”[13]. Mekanisme gerakan thigmonastic di *Mimosa pudica* tidak jelas saat ini, ada beberapa hipotesis, Hipotesis osmotik menyatakan bahwa gerakan

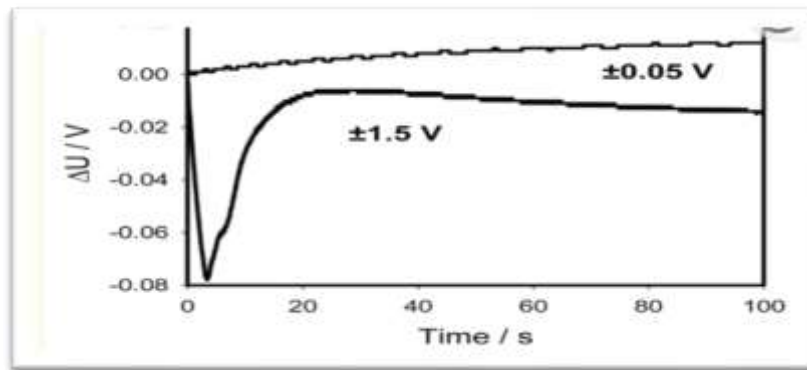
thigmonastic *Mimosa pudica* didukung oleh hilangnya tekanan turgor secara tiba-tiba di sel motor pulvinus. Seperti yang terlihat pada gambar 2.6 Pembengkokan pulvinus juga memanifestasikan dirinya dengan perubahan kelengkungan sisi ekstensor dan fleksor.



**Gambar 2.6** Tanaman Putri Malu[4]

Gerakan tangkai daun dan perubahan kelengkungan mengikuti satu sama lain. Selama jatuhnya tangkai daun, volume bagian bawah pulvinus berkurang dan volume bagian atas meningkat dalam beberapa detik. Selama relaksasi tangkai daun ke keadaan awalnya, volume sisi ekstensor pulvinus meningkat dan volume sisi fleksor menurun dalam 20 menit. Ini tampaknya terjadi karena redistribusi air antara bagian atas dan bawah pulvinus. pergerakan air dari bagian bawah pulvinus ke bagian atas mengikuti stimulus mekanis diamati.[14] Pengamatan ini memberikan bukti langsung untuk teori pergerakan cepat air dari bagian bawah ke bagian atas pulvinus. Gerakan air dari bagian atas pulvinus ke bagian bawah pulvinus selama relaksasi tangkai daun lambat. Dengan menggunakan metode kapasitor bermuatan, kita dapat mengevaluasi beberapa sifat kelistrikan jaringan tumbuhan. Ikatan pembuluh pada tangkai daun dikelilingi oleh selubung sklerenkim yang memberikan isolasi simplastik.[15] Seperti yang disajikan pada (Gambar. 2.7) Penerapan tegangan kecil ke tangkai daun VP hingga 1,5 V atau sama dengan 1500 mV tidak menyebabkan pembengkokan pulvinus atau gerakan tangkai daun pada *mimosa pudica*. [13]





**Gambar 2.7** Sinyal Listrik Pada Tanaman *Mimosa Pudica*[13]

### C. Sinyal Listrik pada Tanaman *Glycine Max* (Kedelai)

Penelitian dengan judul “Tanaman Sebagai Biosensor lingkungan”[16]. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.8 Kedelai, atau kacang kedelai, adalah salah satu tanaman jenis polong-polongan yang menjadi bahan dasar banyak makanan dari Asia Timur seperti susu, kecap, tahu, dan tempe.

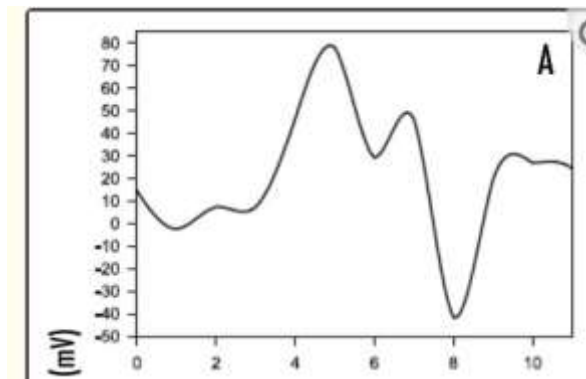
Berdasarkan peninggalan arkeologi, tanaman ini telah dibudidayakan sejak 3500 tahun yang lalu di Asia Timur. Pertumbuhan tanaman, seperti kedelai, dipengaruhi oleh beberapa parameter lingkungan. Salah satu parameter tersebut adalah cahaya. Cahaya matahari akan memengaruhi pertumbuhan kedelai baik dari segi panjang taruk tanaman, panjang akar tanaman maupun berat biomassa.

Penelitian dilakukan dengan mengobservasi pertumbuhan kedelai dengan perlakuan gelap dan terang. Pertumbuhan tanaman kedelai juga sangat membutuhkan sinar matahari. Tanaman kedelai yang tidak terpapar sinar matahari akan mengalami peningkatan laju pemanjangan batang (elongasi) selama periode awal pertumbuhan serta pembentukan biji yang kurang baik dan lebih lambat daripada perlakuan adanya cahaya.



**Gambar 2.8** Tanaman kedelai

Seperti yang terlihat pada gambar 2.9 data hasil penelitian ini, potensial aksi cepat dan menurunkan potensial variasi menjadi nol pada kedelai. potensial variasi, yang diukur antara dua elektroda Ag/AgCl, pada batang kedelai, perlahan-lahan menurun dari 80-90 mV (negatif pada akar, positif pada bagian atas kedelai) menjadi 0 selama kerangka waktu 48 jam.



**Gambar 2.9** Tanaman Sinyal listrik pada tanaman kedelai[16]

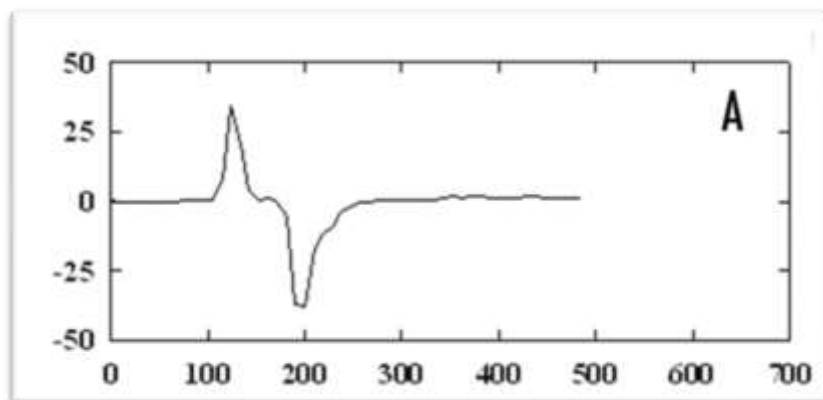
#### **D. Sinyal Listrik pada Tanaman *Solanum tuberosum* (Tanaman Kentang)**

Penelitian dengan judul “Tanaman Sebagai Biosensor lingkungan”[16] Kentang merupakan salah satu contoh sayuran yang termasuk ke dalam kategori sayuran iklim dingin karena selama masa pertumbuhan dan perkembangannya memerlukan suhu 10-18 0C. Tanaman ini berasal dari wilayah Pegunungan Andes di Peru dan Bolivia, kemudian menyebar ke Cili, Kolumbia, Ekuador, Spanyol, dan seluruh benua Eropa.[17] Tanaman kentang berbentuk semak dengan susunan tubuh utama terdiri atas stolon, umbi, batang daun, bunga, buah, biji, serta akar dan memiliki umur (dari tanam sampai masa panen) antara 90-120 hari. Bentuk umbi kentang antara lain bulat, bulat lonjong, dan lonjong memanjang. Warna kulit umbi kentang antara lain keputihan, kuning dan merah. Mata tunasnya ada yang dangkal dan ada yang dalam. Batang tanaman kentang berbentuk bulat atau persegi bersayap, berbuku-buku, dan berongga. Helai daun berbentuk lonjong atau bulat lonjong dengan ujung meruncing. Tanaman kentang memiliki anak daun primer dan sekunder yang tersusun dalam tangkai daun secara berhadap-hadapan. Bunga kentang berbentuk menyerupai terompet dan muncul pada ujung cabang. Kelopak bunganya berwarna hijau dan berjumlah 5 helai.[18]



**Gambar 2.10** Tanaman kentang

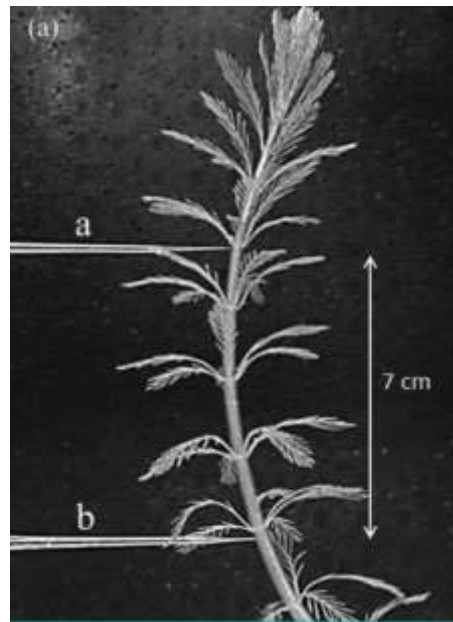
Ketika larva dibiarkan memakan daun bagian atas tanaman kentang, setelah 6-10 jam, potensial aksi dengan amplitudo  $\pm 10$  mV dicatat setiap  $2 \pm 0,5$  jam selama periode pengujian dua hari. Potensi istirahat menurun dari 30 mV ke tingkat kondisi stabil  $0 \pm 5$  mV. Seperti pada gambar 2.11 menunjukkan bahwa lonjakan positif dan puncak negatif muncul selama pengukuran beda potensial listrik antara dua elektroda perak klorida reversibel. Potensial aksi yang diinduksi oleh kumbang kentang Colorado pada tanaman kentang merambat secara perlahan dan karenanya, kecepatan perbanyakan dapat diukur dengan dua elektroda Ag/AgCl. Potensi aksi menyebar dari daun tanaman dengan kumbang kentang Colorado ke batang, dan ke umbi kentang. Kecepatan rambat potensial aksi tidak bergantung pada lokasi elektroda kerja di batang tanaman atau umbi, atau jarak antara elektroda kerja dan elektroda referensi.[16]



**Gambar 2.11** Sinyal Listrik Tanaman Kentang.[16]

### E. Sinyal Listrik pada Tanaman *Myriophyllum aquaticum* (bulu burung beo)

Penelitian dengan judul “Penyisipan elektroda menghasilkan potensial listrik yang merambat lambat di tanaman *Myriophyllum aquaticum*”[16]. Seperti yang terlihat pada gambar 2.12 *Myriophyllum aquaticum* adalah tumbuhan air yang airnya tenang atau berarus lambat. Spesies ini sebagian besar muncul dalam bentuk pertumbuhan yang muncul di tegakan padat, tetapi pucuk yang terendam juga dapat ditemukan. Karena pertumbuhannya yang cepat, *M. aquaticum* dianggap sebagai salah satu gulma air yang paling penting di seluruh dunia. Di Eropa selatan, *M. aquaticum* terjadi pada sistem irigasi dan drainase, sawah dan lahan basah dataran rendah.

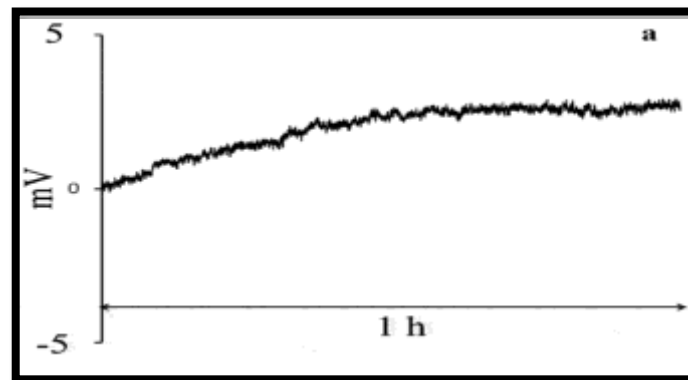


**Gambar 2.12** Tanaman *Myriophyllum aquaticum*[2]

EP pada tanaman *Myriophyllum aquaticum* (bulu burung beo) dipicu oleh penyisipan mikroelektroda kaca, perbanyakkan EP sistematis. Penyisipan mikroelektroda ke dalam batang *M. aquaticum* memicu EP sistematis, yang terus diamati selama 50-70 menit. Setelah perambatan sinyal, EP direpolarisasi pada nilai mV yang relatif lebih tinggi daripada EP awal, kecuali pada satu individu (EP minimum yang direkam juga lebih rendah daripada EP yang direpolarisasi). Setelah penyisipan elektroda, EP terpolarisasi ulang dan menetap pada potensial istirahat yang relatif berbeda dari EP awal. Eksperimen kontrol yang dilakukan menggunakan batang sepon yang dibasahi dengan air suling juga menunjukkan bahwa EP sedikit meningkat sebelum stabilisasi. Sebaliknya, percobaan kontrol

yang dilakukan dengan menggunakan KCl 1 M menunjukkan kecenderungan yang hampir linier. Oleh karena itu, peningkatan EP repolarisasi harus menjadi hasil dari proses stabilisasi elektroda dalam jaringan tanaman.

Penyisipan elektroda pembaca memicu EP, menunjukkan tren yang hampir sama di antara semua tanaman *M. aquaticum* ( Gambar 2.13 ) . EP tanaman awalnya meningkat dan memuncak pada  $\pm 1,8$  mV. Setelah memuncak, EP mulai menurun; namun, penurunan ini berhenti pada tingkat mV yang berbeda di setiap pabrik. Uji kontrol yang dilakukan pada tanaman ini dengan batang spons sedikit peningkatan EP diamati hingga 20 menit setelah penyisipan elektroda ke batang spons. EP ditetapkan dalam kisaran 1,5–2,9 mV.[2]



**Gambar 2.13** Sinyal Listrik Pada Tanaman *Myriophyllum aquaticum*[2]

## 2.2 Elektroda

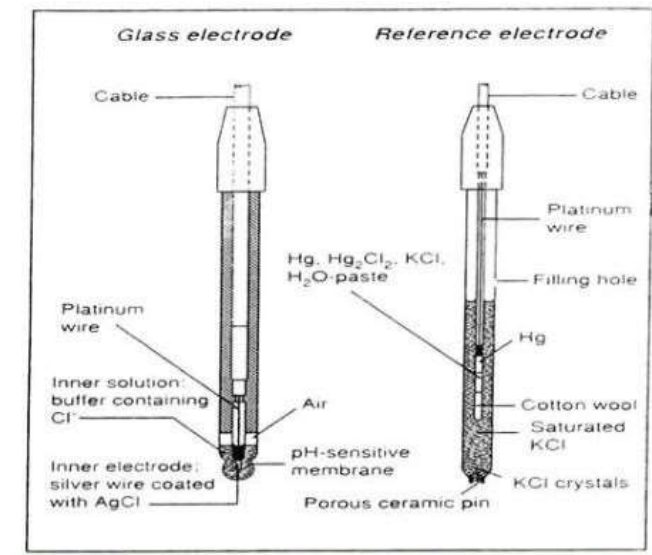
Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit[7]. Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada proses elektrolisis air. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke air yang akan dielektrolisis. Pada elektrolisis yang menggunakan arus DC, elektroda terbagi menjadi dua kutub yaitu positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda. Material serta luasan katoda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas HHO (Brown's Gas) yang dihasilkan dari proses elektrolisis air.[19]

Berdasarkan fungsinya, elektroda digolongkan menjadi tiga kategori yaitu:

### 1. Elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan elektroda tempat reaksi yang diinginkan terjadi (Underwood, 1986). Karakteristik yang ideal dari elektroda kerja adalah memiliki

daerah potensial yang lebar, hambatan kecil, dan permukaan yang reproduibel. Daerah potensial dari masing-masing elektroda tergantung pada bahan elektroda dan komposisi dari elektrolit. Daerah potensial dapat disesuaikan dengan elektroda dan larutan elektrolit yang digunakan. Elektroda kerja digunakan untuk menunjukkan secara tidak langsung jika elektroda ini merespon beberapa  $\frac{1}{2}$  reaksi spesifik. seperti yang terlihat pada gambar 2.14.



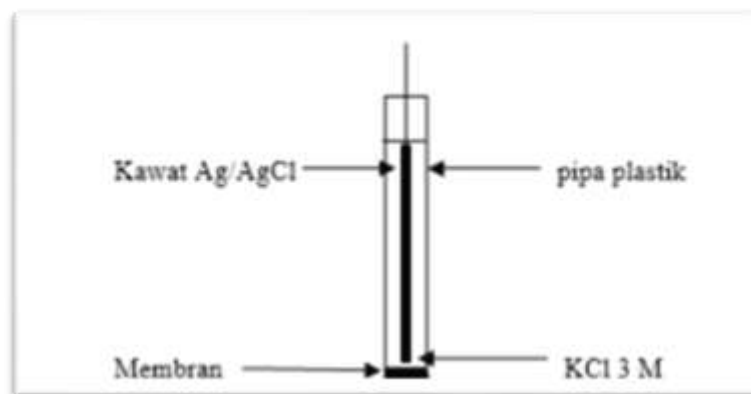
**Gambar 2.14** Elektroda kerja berbahan kaca

## 2. Elektroda banding

Elektroda pembanding merupakan elektroda setengah sel yang diketahui nilai potensialnya. Potensial yang diaplikasikan merupakan beda potensial antara elektroda kerja dengan elektroda pembanding. Dalam sistem dua elektroda elektron akan mengalir lewat elektroda pembanding. Sehingga pada sistem ini sulit digunakan untuk mempertahankan potensial konstan dalam elektroda, akibatnya elektroda pembanding mempunyai kemungkinan ikut bereaksi (mengalami perubahan). Kekurangan ini diperbaiki dalam sistem tiga elektroda. Dengan memberikan impedansi yang besar pada elektroda pembanding, elektron disuplai dari elektroda ketiga yaitu elektroda bantu/kounter. Walaupun sistem tiga elektroda lebih sempurna, namun sistem dua elektroda sering digunakan karena lebih sederhana. Prasyarat utama dari elektroda pembanding, potensialnya harus diketahui pasti dan tidak berubah selama digunakan. Kekurangan ini diperbaiki dalam sistem tiga elektroda.

Dengan memberikan impedansi yang besar pada elektroda pembanding, elektron disuplai dari elektroda ketiga yaitu elektroda bantu/kounter. Walaupun sistem tiga elektroda lebih sempurna, namun sistem dua elektroda sering digunakan karena lebih sederhana. Prasyarat utama dari elektroda pembanding, potensialnya harus diketahui pasti dan tidak berubah selama digunakan. Contoh elektroda yang telah dikenal secara luas yaitu Elektroda Hidrogen Standar (EHS), Elektroda Kalomel Jenuh (EKJ), Elektroda Merkuri/Merkuri Sulfat, dan Elektroda Ag/AgCl. Elektroda Ag/AgCl merupakan elektroda yang terdiri dari logam perak yang dilapisi dengan perak klorida, larutan KCl, dan membran Gao P. dkk telah memodifikasi elektroda pembanding Ag/AgCl dengan menggunakan selubung kuarsa yang diuji dalam larutan CaCl<sub>2</sub>.

Elektroda Ag/AgCl merupakan elektroda yang terdiri dari logam perak yang dilapisi dengan perak klorida, larutan KCl, dan membrane. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi elektroda Ag/AgCl dengan menggunakan membran yang berbeda, Dalam penelitian ini juga membuat bentuk elektroda Ag/AgCl yang lebih kecil dibandingkan dengan elektroda yang diproduksi secara masal. Hal ini dilakukan karena perkembangan teknologi yang menuntut semua menjadi lebih praktis dari sisi tempat dan waktu. Dengan pengeluaran dalam pembuatan elektroda ini lebih murah dan mudah.[20]



**Gambar 2.15** Elektroda Ag/AgCl [21]

### 2.3 Sinyal

Sinyal adalah besaran fisis yang berubah menurut waktu, ruang, atau variabel-variabel bebas lainnya. Untuk menyalurkan data dari satu tempat ke tempat yang lain, data akan diubah menjadi sebuah bentuk sinyal. Sinyal adalah suatu isyarat

untuk melanjutkan atau meneruskan suatu kegiatan. Biasanya sinyal ini berbentuk tanda-tanda, lampu-lampu, atau suara-suara. Sinyal dibentuk oleh transmitter dan ditransmisikan melalui media transmisi. Sinyal sangat erat sekali hubungannya dengan fungsi waktu (periodik), tetapi sinyal juga dapat diekspresikan dalam bentuk fungsi frekuensi.

### **1.6 Sinyal Listrik Pada Tanaman**

Sinyal listrik pada tanaman dapat dibagi menjadi tiga jenis: potensial listrik lokal (LEP), potensial aksi (AP) dan potensial variasi (VP). LEP adalah respon sub-threshold yang disebabkan oleh perubahan faktor lingkungan (misalnya tanah, air, kesuburan, cahaya, suhu udara dan kelembaban). Meskipun LEP hanya dihasilkan secara lokal dan tidak ditransfer ke bagian lain tanaman, namun memiliki dampak yang luar biasa pada status fisiologis tanaman. [22] , . Sebaliknya, baik AP maupun VP dapat mentransmisikan dari tempat yang distimulasi ke bagian tanaman yang lain.

AP diinduksi oleh stimulus yang tidak merusak (misalnya stimulus dingin, mekanik dan listrik), dan merupakan fenomena pensinyalan luas yang dapat dengan cepat mengirimkan informasi jarak jauh.

VP diinduksi oleh stimulus yang merusak (misalnya pembakaran dan pemotongan). Tidak seperti AP, VP ditandai dengan penurunan besarnya saat menyebar jauh dari tempat yang distimulasi [23] . Selanjutnya, VP tidak mengikuti hukum all-or-none, karena besarnya dan bentuk VP bervariasi dengan intensitas stimulus. VP terutama tergantung pada xilem untuk transmisi, yang dapat menembus jaringan mati atau organ di dalam tumbuhan [23].

Selama pertumbuhan tanaman, sinyal listrik pada tanaman dapat menampilkan fitur yang berbeda karena cahaya yang lemah, kelembapan yang tinggi, dan kekurangan kalium. Ini menunjukkan potensi penggunaan sinyal-sinyal listrik ini dalam aplikasi yang menunjukkan status fisiologis tanaman untuk penyesuaian dan pengendalian rumah kaca.

Sinyal listrik pada tumbuhan dapat membawa informasi stimulasi lokal ke sel, jaringan, dan organ lain agar mereka merespons dengan tepat. Penutupan perangkat. AP dapat mengatur pergerakan daun pada beberapa tanaman tingkat



tinggi yang sensitif (misalnya *Mimosa*). Untuk tanaman tingkat tinggi yang tidak sensitif, sinyal listrik juga berperan penting dalam aktivitas fisiologis (misalnya pertukaran gas, penyerbukan, pemupukan, dan ekspresi gen) [24]. Oleh karena itu, sinyal listrik sangat penting dan memiliki efek fisiologis yang signifikan pada tanaman.

Pada tanaman, sinyal listrik dianggap sebagai perubahan potensial listrik (EP). EP pada tanaman dihasilkan sebagai respons terhadap berbagai stimulus, seperti luka, bahan kimia (misalnya herbisida, stimulan pertumbuhan tanaman, dan garam), panas, air, dan sengatan listrik. Sinyal listrik membawa informasi stimulus yang mungkin dikodekan oleh bentuk atau variasi spasial dan temporal dalam sinyal ke lokasi yang jauh di dalam tanaman. Penyebaran EP dari lokasi stimulus ke lokasi target melibatkan depolarisasi dan repolarisasi membran melalui pertukaran ion antara ruang ekstraseluler dan intraseluler. Tumbuhan dari spesies tunggal dalam kondisi yang sama harus menunjukkan bentuk yang identik atau variasi spasial dan temporal dalam EP jika membawa informasi stimulus yang sama ke bagian yang jauh; namun, variasi kecil dalam bentuk sinyal di antara individu diharapkan.

EP tanaman direkam menggunakan elektroda Ag/AgCl yang ditempelkan pada permukaan tanaman atau dimasukkan ke dalam jaringan tanaman. Elektroda permukaan bersifat noninvasif dan dapat ditempelkan pada permukaan bagian tanaman (misalnya batang dan daun). Memasukkan elektroda dimasukkan ke dalam ruang ekstraseluler, pembuluh, atau sel dalam jaringan. Untuk penggunaan kedua elektroda tersebut, perlu disediakan periode stabilisasi elektroda di dalam jaringan tanaman sebelum akuisisi data. Ini karena penyisipan elektroda dapat menghasilkan respons seperti luka/stimulus atau membangkitkan status EP istirahat dengan mengganggu jaringan. EP yang dihasilkan oleh penyisipan elektroda juga dapat menyebar sebagai sinyal sistematis ke bagian tanaman yang jauh. Ketika elektroda dimasukkan, EP yang dihasilkan dipindahkan dari lokasi penyisipan elektroda (yaitu, dan EP ini di lokasi penyisipan elektroda dapat dideteksi oleh elektroda itu sendiri).

#### **2.4. *Plant SpikerBox***

*Plant SpikerBox* adalah perangkat yang digunakan dalam studi dan penelitian ilmiah, modul ini adalah modul berisi tentang untuk menganalisa pergerakan

tumbuhan yang terdiri dari IC AD8226 dan LMV321ILT sebagai penguat sinyal. Dengan ada nya ditambah beberapa kali penguat sinyal maka frekuensi tanaman yang kecil tersebut dapat terbaca dan nilai analog(A0) nya ke buffer pin 36 yang terhubung ke mikrokontroler ATMEGA32U4. Untuk merekam sinyal tegangan listrik yang dihasilkan oleh tanaman dengan cara menempelkan elektroda Ag/AgCl kemudian memberi gel elektroda pada elektroda Ag/AgCl pada bagian batang atau daun pada tanaman. Sinyal listrik yang terekam berasal dari aktivitas listrik yang ditimbulkan oleh sel-sel electron pada tanaman Ketika diberikan stimulus.

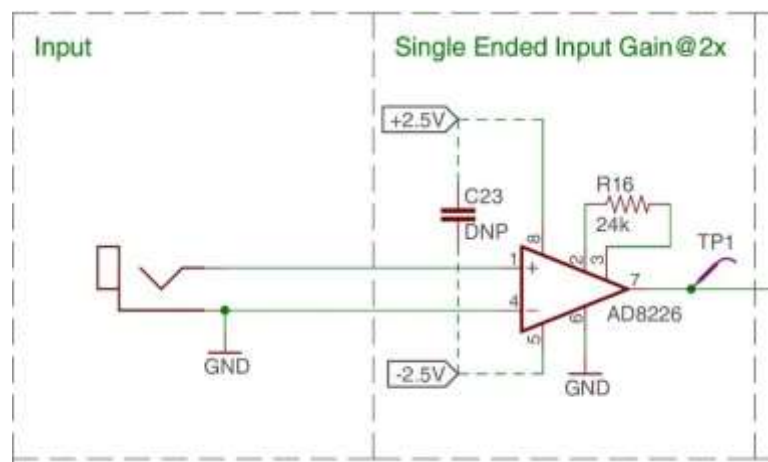


**Gambar 2.16** Alat *Plant SpikerBox*

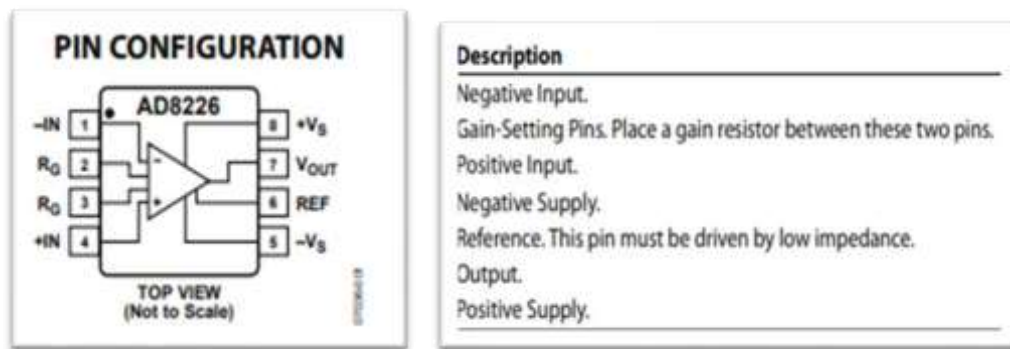
Sumber (<https://backyardbrains.com/products/plantspikerbox>)

#### 2.4.1 IC AD8226

Seperti yang terlihat pada gambar 2.17 terdapat input misalnya 1 mV maka TP1 (titik point keluaran) nya 2 mV karna terjadi *penguatan (gain)* sebanyak 2 kali.



**Gambar 2.17** IC AD8226 pada modul *Plant SpikerBox*

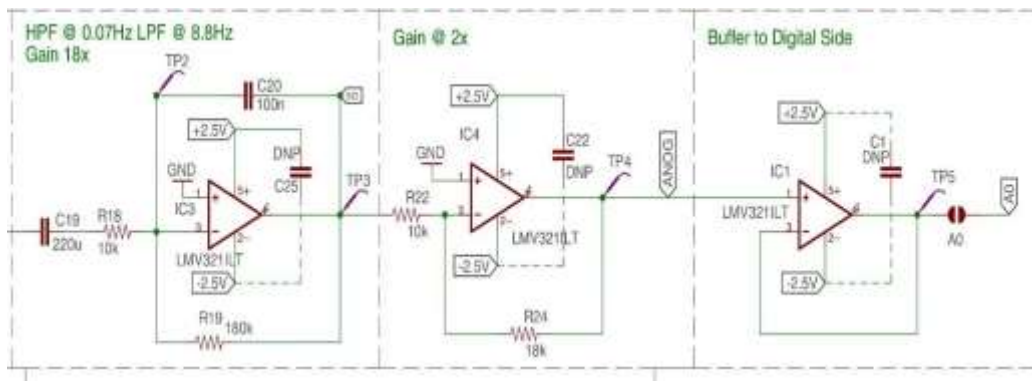


**Gambar 2.18** Pin Configuration AD8226

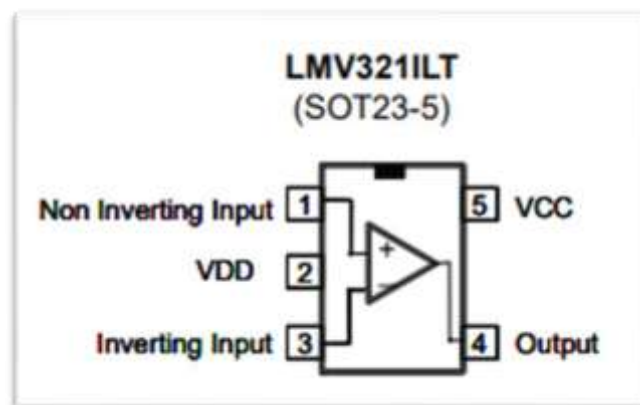
Penguat operasional rel-ke-rel input/output AD8226 adalah penguat instrumentasi yang hanya membutuhkan satu resistor eksternal untuk menetapkan penguatan apa pun antara 1 dan 1000. AD8226 dirancang untuk bekerja dengan berbagai voltase sinyal. Kisaran masukan yang luas dan keluaran rel-ke-rel memungkinkan sinyal untuk memanfaatkan sepenuhnya rel suplai. Karena rentang input juga mencakup kemampuan untuk berada di bawah suplai negatif, sinyal kecil di dekat ground dapat diperkuat tanpa memerlukan suplai ganda. AD8226 beroperasi pada suplai mulai dari  $\pm 1,35$  V hingga  $\pm 18$  V untuk suplai ganda dan 2,2 V hingga 36 V untuk suplai tunggal. Untuk perangkat dengan paket dan kinerja serupa seperti AD8226 tetapi dengan penguatan yang dapat diatur dari 5 hingga 1000.

#### 2.4.2 IC LMV321ILT

Seperti yang terlihat pada gambar 2.19 diperlukan *High pass filter* karena gelombang-gelombang tersebut mengacak maka dibutuhkan filter agar gelombang dari *output* bersih. Gelombang sinusoid Frekuensi yang high di *cut*, *HPF (High Pass Filter)* di *cut* 0.07Hz *LPF (Low Pass Filter)* juga di *cut* 8.8Hz. Kemudian gain dikuatkan 18 kali, dan keluar lah hasil penguatan di TP (Titik Point) 3 yang sudah dikuatkan 18 kali, kemudian dikuatkan 2 kali lagi karena frekuensi tanaman sangat kecil maka diperlukan beberapa kali penguatan sinyal. Penguatan ini dihasilkan dari rangkaian OpAmp, Penguatan ini ditentukan oleh nilai-nilai dari resistor, kapasitor, dan juga resistor pembanding sebagai penguatan sinyal. Kemudian pada TP4 dimasukkan buffer dari analog ke digital.



**Gambar 2.19** IC LMV321ILT pada modul Plant SpikerBox



**Gambar 2.20** Pin Configuration ic LMV321ILT

Seperti yang terlihat pada gambar 2.20 rangkaian LMV321 Penguat Instrumentasi Keluaran *Rail-to-Rail* beroperasi dengan voltase serendah 2,7 V dan menampilkan input dan output rel-ke-rel, arus konsumsi 145  $\mu$ A dan produk bandwidth gain (GBP) 1 MHz. Dengan konsumsi yang rendah dan GBP yang cukup untuk banyak aplikasi, op-amp ini sangat cocok untuk semua jenis aplikasi peralatan portabel dan baterai yang disuplai. LMV321 ditempatkan dalam paket SOT23-5 5-pin hemat ruang yang menyederhanakan desain papan (dimensi keseluruhan adalah 2,8 mm x 2,9 mm). SOT23-5 memiliki dua konfigurasi penyematan untuk menjawab semua persyaratan aplikasi.

### 2.4.3 ATMEGA32U4

Seperti yang terlihat pada gambar 2.20 saat di TP5 keluarannya sudah high low atau nilai digital 1 dan 0, bridge A0 saat di sambungkan maka akan menjadi nilai analog, analog ini dibaca atau di buffer pin 36 mikrokontrol ATMEGA32U4, dan inilah proses pembacaan dari modul ini.





**Gambar 2.23** *Stimulation Cable*

Sumber: <https://backyardbrains.com/products/stimulationcable>

## 2.5 Elektroda Gel



**Gambar 2.24** Gel Elektroda

Sumber : <https://backyardbrains.com/products/emgelectrodegel>

Elektroda gel adalah jenis elektroda yang paling banyak digunakan. Mereka adalah bagian dari rekaman EEG klinis rutin dan telah menjadi standar emas dalam penelitian EEG sejak lama. Elektroda umumnya terbuat dari perak dengan lapisan perak klorida. Ketika gel yang mengandung banyak ion klorida diterapkan antara kulit dan elektroda ini, konduksi ditingkatkan dan impedansi antarmuka kulit-elektroda berkurang. Oleh karena itu, gel antara kulit dan elektroda memungkinkan perekaman biopotensial yang berkualitas baik. Elektroda gel ini berbentuk cakram dan memiliki lubang di tengahnya dimana gel dapat diaplikasikan dengan jarum suntik. Waktu persiapan penutup EEG gel memerlukan waktu karena kulit perlu digosok dan semua elektroda perlu diisi satu per satu oleh teknisi terlatih.

## 2.6 Matlab

Matlab adalah singkatan dari "*MATrix LABoratory*" dan merupakan sebuah lingkungan pemrograman komputer dan bahasa pemrograman yang digunakan secara luas dalam pengolahan data, analisis, visualisasi, dan pemodelan matematika.

MATLAB telah berkembang selama beberapa tahun dengan masukan dari banyak pengguna. Di lingkungan universitas, ini adalah alat pengajaran standar untuk kursus pengantar dan lanjutan dalam matematika, teknik, dan sains. Dalam industri, MATLAB adalah alat pilihan untuk penelitian, pengembangan, dan analisis produktivitas tinggi. MATLAB menampilkan keluarga solusi khusus aplikasi yang disebut kotak alat. Sangat penting bagi sebagian besar pengguna MATLAB, kotak peralatan memungkinkan Anda melakukannya mempelajari Dan menerapkan teknologi khusus. Toolbox adalah koleksi lengkap dari fungsi MATLAB (M-files) yang memperluas lingkungan MATLAB untuk memecahkan kelas masalah tertentu. Area di mana kotak alat tersedia meliputi pemrosesan sinyal, sistem kontrol, jaringan saraf, logika fuzzy, wavelet, simulasi, dan banyak lainnya.

Sistem MATLAB terdiri dari lima bagian utama: Bahasa MATLAB. Ini adalah bahasa matriks/array tingkat tinggi dengan pernyataan aliran kontrol, fungsi, struktur data, input/output, dan fitur pemrograman berorientasi objek. Hal ini memungkinkan "pemrograman kecil" untuk membuat program dengan cepat, dan "pemrograman besar" untuk membuat program aplikasi besar dan kompleks yang lengkap. Fitur bahasa diatur ke dalam enam direktori di MATLAB Toolbox: operasi Operator dan karakter khusus. konstruksi bahasa pemrograman. Ini juga mencakup alat untuk mengembangkan, mengelola, men-debug, dan membuat profil file-M, aplikasi MATLAB. Fitur lingkungan kerja terletak di satu direktori. umum Perintah tujuan umum. Menangani Grafik. Ini adalah sistem grafis MATLAB. Ini mencakup perintah tingkat tinggi untuk visualisasi data 2-D dan 3-D, pemrosesan gambar, animasi, dan grafik presentasi. Ini juga mencakup perintah tingkat rendah yang memungkinkan Anda untuk sepenuhnya menyesuaikan tampilan grafik serta membangunnya secara lengkap.



**Gambar 2.25 Matlab[25]**

### 2.6.1 Command Window

Jendela perintah memungkinkan Anda untuk memasukkan pernyataan individu di perintah garis, yang ditunjukkan oleh prompt (`>>`). Saat Anda memasukkan pernyataan, Jendela perintah menampilkan hasilnya.

Misalnya, untuk membuat variabel `a`, ketikkan `a = 1` pada baris perintah dan tekan Enter. MATLAB® menambahkan variabel ke ruang kerja dan menampilkan hasilnya di Command Window. Untuk menekan tampilan keluaran, akhiri pernyataan dengan titik koma, misalnya `a = 1;`

Jika Anda tidak menentukan variabel keluaran, MATLAB menggunakan variabel `ans`, kependekan dari jawaban, untuk menyimpan hasil perhitungan Anda. Nilai `ans` berubah dengan setiap perintah yang mengembalikan nilai keluaran yang tidak ditetapkan ke variabel.

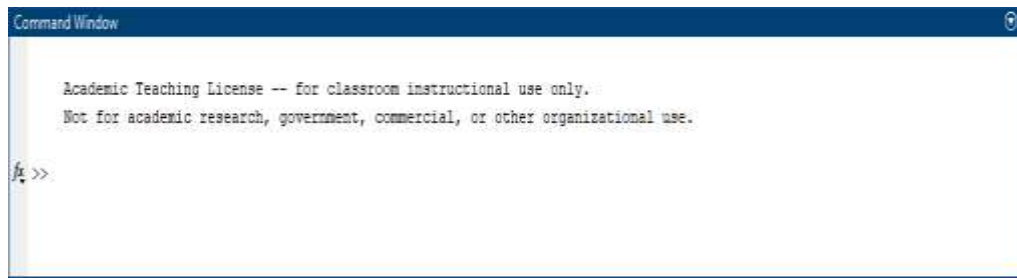
Gambar 2.21 ini menjelaskan beberapa tindakan tambahan yang dapat Anda lakukan di Jendela Perintah. mengembalikan nilai output yang tidak ditugaskan untuk sebuah variabel.

Action	How to Perform the Action
Enter multiple statements on multiple lines before running any of the statements.	Enter the multiple statements at the command line, pressing <b>Shift+Enter</b> between statements.  This key combination is unnecessary when you enter a paired keyword statement on multiple lines, such as <code>for</code> and <code>end</code> .
Clear a statement from the command line without executing it.	Press the Escape ( <b>Esc</b> ) key.
Recall previous statements.	Press the Up arrow <b>↑</b> key. The <b>Command History</b> window opens and displays a log of previous statements.  To recall a specific statement, type any part of the statement and then press the Up arrow key. For example, to recall the command <code>b = 2</code> , type <code>b</code> , and then press the Up arrow key.
Clear the Command Window.	Call the <code>clc</code> function.  To clear the Command Window without deleting any text, call the <code>home</code> function instead. Calling the <code>home</code> function moves the cursor to the upper-left corner of the Command Window and scrolls all visible text out of view, giving the appearance of clearing the screen without deleting any text.
Evaluate a statement already in the Command Window.	Select a statement, right-click, and then select <b>Evaluate Selection</b> .
Execute only a portion of the code currently at the command line.	Select the code at the command line and press <b>Enter</b> .  <code>⌘ &gt;&gt; disp("hello"), disp("world")</code>

**Gambar 2.26** Tampilan tindakan tambahan pada command window



Jendela Perintah selalu terbuka seperti tampilan pada gambar 2.22. Untuk membawa fokus ke Jendela Perintah dari alat lain seperti Editor, atau untuk membuat Jendela Perintah terlihat jika diminimalkan, ketik jendela perintah. Untuk memulihkan Jendela Perintah ke lokasi dan ukuran default, **Home**, and in the **Environment** section, click **Layout**. Kemudian, pilih dari salah satu opsi tata letak desktop yang telah dikonfigurasi sebelumnya.



**Gambar 2.27** Tampilan Command window