

I. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pupuk

Pupuk adalah senyawa yang mengandung unsur hara yang diberikan pada tanaman dengan jumlah dan dosis tertentu. Pupuk umumnya terdiri dari komponen-komponen yang mengandung unsur hara, zat penolak air, pengisi, pengatur konsistensi, kotoran dan lain-lain. Pengelompokan pupuk dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Pupuk alam (pupuk organik) dan buatan (anorganik)
2. Pupuk menurut unsur hara yang dikandungnya

Pupuk bagi para petani merupakan produk yang sangat dibutuhkan dalam usaha budidaya pertanian. Dalam usaha pertanian, pupuk memegang peranan yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, agar tanaman yang dipelihara dapat menghasilkan produk pertanian sesuai dengan yang diharapkan. Untuk mencapai hasil produksi tanaman sesuai dengan yang diharapkan, tanaman memerlukan faktor-faktor tumbuh yang optimum, antara lain ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Jika suatu tanah tidak dapat menyebabkan unsur hara yang cukup bagi tanaman, maka pemberian pupuk perlu dilakukan untuk memenuhi kekurangan tersebut.

Pupuk dalam arti luas adalah semua bahan yang ditambahkan ke dalam tanah untuk menyediakan unsur-unsur esensial bagi pertumbuhan tanaman (Foth, 1991). Tetapi istilah pupuk biasanya berhubungan dengan pupuk buatan. Pupuk tidak berisi unsur-unsur hara tanaman dalam bentuk unsur seperti nitrogen, fosfor, atau kalium; tetapi unsur-unsur tersebut ada dalam bentuk campuran yang memberikan bentuk-bentuk ion dari unsur hara yang dapat diadsorpsi tanaman.

Pemupukan merupakan cara atau teknik yang dilakukan dalam pemberian pupuk (unsur hara) ke tanah atau ke tanaman sesuai yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman normal (Hasibuan, 2003). Pemberian pupuk untuk keperluan tanaman dapat dilakukan melalui tanah yang selanjutnya dapat diserap oleh tanaman melalui akar, atau dapat dilakukan melalui daun yang langsung diserap oleh tanaman.

Beberapa jenis pupuk alam yang sering digunakan adalah night soil (kotoran manusia), pupuk kandang, pupuk hijau, dan kompos. Sedangkan jenis pupuk buatan diantaranya yaitu pupuk urea, ZA, ammonium sulfat, NPK, MAP, kiserit, dan lain-lain. Dari beberapa jenis tersebut yang termasuk ke dalam pupuk Nitrogen antara lain pupuk Urea dan Za, dan pupuk Fosfor adalah DS, TS, TSP, SP 36, dan lain-lain, sedangkan jenis pupuk kalium adalah ZK dan KCl.

Kebutuhan pupuk anorganik nasional di tahun 2011 adalah sebanyak 9,3 juta ton pupuk urea, 4,5 juta ton pupuk super phosphate (SP-36), 1,6 juta ton pupuk ZA, dan 8,8 juta ton pupuk NPK. Sementara pada tahun yang sama masih terjadi kelangkaan pupuk, dengan produksi pupuk nasional adalah pupuk urea sebanyak

8,05 juta ton, pupuk SP-36 sebanyak 1,0 juta ton, pupuk ZA 0,65 juta ton, dan pupuk NPK sebanyak 5,89 juta ton (Yuwono, 2011).

Berdasarkan data Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia, produksi pupuk Fosfat/SP-36 di Indonesia belum bisa memenuhi kebutuhan pupuk bagi petani, baik di bidang Pangan, Sereal, Hortikultura, Kebun Raya, maupun bidang Peternakan. Sebagai contoh, produksi Pupuk Fosfat/SP-36 Indonesia pada tahun 2010 adalah sebesar 636.207 ton. Sedangkan, kebutuhan pupuk Fosfat/SP-36 pada tahun yang sama adalah sebesar 3.211.564 ton dengan persentase pertumbuhan kebutuhan pupuk sebesar 7,83% per tahun (APPI, 2011).

Tabel 1. Produksi Pupuk Indonesia

Produksi	2006	2007	2008	2009	2010
Pupuk	Ton/Tahun	Ton/Tahun	Ton/Tahun	Ton/Tahun	Ton/Tahun
1. Urea	5.654.692	5.865.856	6.213.292	6.856.841	6.721.949
2. Fosfat/SP-36	647.868	660.653	488.487	742.986	636.207
3. ZA/AS	631.645	652.486	751.411	767.837	792.917
4. NPK	496.690	746.347	1.154.714	1.838.485	1.853.172
5. ZK (K ₂ SO ₄)				7.568	8.662
6. Organik				294.555	260.705

Sumber : APPI, 2011

Tabel 2. Kebutuhan Pupuk Tahun 2006 – 2010

KEBUTUHAN TON/TAHUN	T A H U N				
	2006	2007	2008	2009	2010
SP36 Growth (%)	-	512,68	7,23	7,31	7,38
SUBSIDI					
1. Pangan	-	1.975.796	2.065.148	2.158.662	2.256.541
2. Serealia	-	1.256.775	1.316.406	1.369.062	1.423.825
3. Hortikultura	-	607.087	641.691	678.267	716.929
4. Kebun Rakyat	-	714.738	786.212	864.833	951.316
5. Peternakan	-	3.202	3.362	3.530	3.707
Jumlah Pupuk SP36	700.000	2.693.736	2.854.722	3.027.025	3.211.564

Sumber : APPI, 2011

Prediksi Kebutuhan Pupuk Fosfat/SP-36 oleh Departemen Pertanian RI tahun 2011 - 2015 masih mengalami kenaikan, yaitu berkisar antara 3-4 juta ton dengan rata-rata kenaikan kebutuhan Pupuk Fosfat/SP-36 tiap tahunnya berkisar 7%. Sedangkan, Prediksi Kapasitas Produksi Pupuk fosfat/SP-36 sebesar satu juta ton/tahun.

Tabel 3. Prediksi Kebutuhan Pupuk Tahun 2011 – 2015

KEBUTUHAN TON/TAHUN	TAHUN					PENINGKATAN (%)
	2011	2012	2013	2014	2015	
SP36 Growth (%)	7,45	7,53	7,6	7,67	7,74	
SUBSIDI						
1. Pangan	2.358.990	2.466.232	2.578.497	2.696.031	2.819.084	4,54
2. Serealia	1.480.778	1.540.009	1.601.609	1.665.674	1.732.300	4,00
3. Hortikultura	757.794	800.988	846.644	894.903	945.912	5,70
4. Kebun Rakyat	1.046.448	1.151.093	1.266.202	1.392.822	1.532.104	10,00
5. Peternakan	3.892	4.087	4.291	4.506	4.731	5,00
Jumlah Pupuk						
SP36 Bersubsidi = 1+4+5	3.409.330	3.621.412	3.848.990	4.093.359	4.355.919	6,19
Kapasitas Produksi SP36, Ton/Thn	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	
Rata-rata Ton/Thn	2.409.330	2.621.412	2.848.990	3.093.359	3.355.919	

Sumber : APPI, 2011

B. Penggolongan Pupuk

Dalam ilmu pertanian, pupuk dibedakan menjadi 2 golongan besar, yaitu :

1. Pupuk Organik

Pupuk organik adalah pupuk yang terbuat dari sisa-sisa makhluk hidup yang diolah melalui proses pembusukan atau dekomposisi oleh bakteri pengurai, contohnya adalah pupuk kompos dan pupuk kandang. Pupuk kandang merupakan kotoran padat dan cair dari hewan ternak yang tercampur dengan sisa-sisa makanan ternak. Pupuk ini mempunyai kandungan unsur hara yang rendah.

Akan tetapi, di samping dapat menambah unsur hara juga dapat mempertinggi humus, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kehidupan jasad renik. Sedangkan, pupuk kompos adalah pupuk yang dibuat dari sisa-sisa limbah pertanian yang bersifat organik dan dibuat dengan cara penguraian oleh bakteri pengurai. Pupuk kompos ini dapat dibuat dari bahan daun tanaman, ranting, kulit buah, batang yang melapuk, dan lain sebagainya.

Keuntungan penambahan pupuk organik pada tanah adalah :

- a) Menyediakan sebagian besar unsur N dan Cu serta setengah dari unsur P perlahan-lahan.
- b) Meningkatkan KTK tanah masam yang telah mengalami pelapukan lanjut.
- c) Dapat membentuk kompleks dengan oksida amorf sehingga oksida amorf tidak mengkristal dan menurunkan fiksasi fosfor.
- d) Memantapkan agregat tanah dan memperbaiki sifat fisika tanah sehingga menurunkan erosi pada tanah.
- e) Meningkatkan kapasitas penahan air.
- f) Dapat membentuk kompleks dengan unsur mikro sehingga mencegah pencucian (Sanchez, dkk., 2004)

2. Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik disebut juga dengan pupuk buatan, yaitu jenis pupuk yang dibuat pada pabrik dengan meramu berbagai bahan kimia sehingga memiliki prosentase kandungan hara relatif tinggi. Contoh pupuk anorganik atau buatan adalah pupuk Urea, TSP, Gandasil, dan lain-lain.

Pupuk anorganik atau pupuk buatan ini dapat digolongkan berdasarkan jenis kandungan unsur haranya, yaitu dapat dibagi menjadi pupuk tunggal dan pupuk majemuk. Pupuk tunggal adalah pupuk anorganik yang memiliki kandungan unsur hara hanya satu macam, contohnya pupuk urea, yang hanya mengandung unsur hara nitrogen. Sedangkan, pupuk majemuk adalah pupuk yang mengandung lebih dari satu macam unsur hara contohnya pupuk DAP yang mengandung unsur nitrogen dan fosfor, NPK yang mengandung unsur hara nitrogen, fosfor dan kalium.

Fosfor merupakan bagian integral di bagian penyimpanan (*storage*) dan pemindahan (*transfer*) energi. Fosfor terlibat pada peningkatan energi sinar matahari yang menghantam sebuah molekul klorofil. Begitu energi tersebut sudah tersimpan dalam ADP (*adenosine diphosphate*) atau ATP (*adenosine triphosphate*), ia akan dipakai untuk menjalankan reaksi-reaksi yang memerlukan energi, seperti pembentukan sukrosa, tepung, dan protein. Umumnya, penyediaan fosfor yang tidak memadai akan menyebabkan laju respirasi menurun, lalu menular pada fotosintesis. Jika respirasi terhambat, pigmen ungu, anthocyanin, tidak berkembang dan memberi ciri defisiensi faktor pada daun bagian rendah (Indranada, 1994).

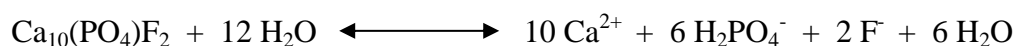
C. Pupuk Fosfat

Fosfat alam adalah batuan apatit dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ mengandung fosfat cukup tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk. Batuan fosfat sangat tidak larut, sehingga ketersediaan P rendah bagi pertumbuhan tanaman (Forth, 1998).

Batuan fosfat baik yang berkadar P rendah maupun tinggi, menjadi sumber utama pembuatan pupuk superfosfat. Pelepasan ion fosfat dipercepat jika tersedia ion H^+ yang cukup (kondisi asam). Batuan fosfat dapat diaplikasikan langsung ke tanah yang secara alami dapat melepaskan PO_4^{-3} tersedia bagi tanaman. Hal itu jika di dalam tanah terdapat cukup tersedia ion H^+ untuk membantu melarutkan P dari batuan fosfat, tetapi prosesnya sangat lambat dan hanya terjadi pada tanah yang asam, serta adanya mikroba pelarut fosfat. Penelitian di daerah tropika menunjukkan bahwa pengaruh batuan fosfat secara langsung mempunyai prospek yang baik, jika digunakan pada tanah yang bereaksi asam (Sarno, 1996).

Penggunaan pupuk fosfat sangat diperlukan dalam budidaya tanaman di daerah tropika, karena tanah tropika miskin akan hara P yang tersedia. Pupuk fosfat mengandung fosfor (P) yang merupakan salah satu dari tiga unsur makro atau esensial selain nitrogen (N) dan kalium (K), yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Pupuk fosfat umumnya dibuat dari batuan fosfat alam melalui proses industri, meskipun sebenarnya batuan fosfat alam dapat diaplikasikan langsung ke tanah, tetapi lambat dalam menyediakan hara (Suciati, 2004).

Reaksi batuan fosfat yang diaplikasikan secara langsung pada tanah masam :



Proses ini berlangsung lambat.

Penggunaan batuan fosfat yang diberikan secara langsung sebagai pupuk fosfat merupakan salah satu cara untuk mengatasi mahalnya harga pupuk dan rendahnya efisiensi pemupukan menggunakan pupuk superfosfat (Adiningsih, dkk., 1998).

Namun demikian, sifat batuan fosfat yang sukar terlarut dalam air menyebabkan

laju pelarutannya tidak berimbang dengan kebutuhan fosfat tanaman (Matunubun, dkk., 1988).

Penggunaan batuan fosfat alam secara langsung juga perlu memperhatikan beberapa faktor utama yang dapat mempengaruhi, antara lain : sifat mineralogi dan kimia BFA, kelarutannya dalam tanah, kandungan P, tanggapan tanaman, dan penggunaannya (Hasibuan, 2003).

Kelarutan fosfat alam dalam tanah dipengaruhi oleh faktor-faktor tanah, seperti kelembaban, kemasaman, kadar C dan P tanah, serta faktor tanaman, seperti kemampuan penyerapan Ca dan P oleh tanaman (Noor, 2008). Pada tanah masam terdapat ion H^+ dalam jumlah banyak sebagai akibat tercucinya ion-ion basa khususnya Ca^{2+} karena curah hujan yang tinggi (Soelaeman, 2008). Batuan fosfat alam melepaskan ion fosfat dan ion lainnya yang akan bereaksi dengan H^+ menjadi $H_2PO_4^-$ yang dapat diserap oleh tanaman. Unsur P merupakan unsur yang sangat stabil di dalam tanah, sehingga kehilangannya melalui pencucian relatif tidak pernah terjadi. Hal ini juga yang menyebabkan kelarutan P dalam tanah sangat rendah dan pada akhirnya ketersediaan P untuk tanaman relatif sangat sedikit (Nyakpa, dkk., 1988).

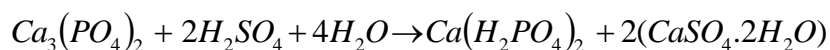
Pupuk fosfat komersial yang tersedia di pasaran dengan bermacam jenis dan variasi komposisinya. Pada umumnya, pupuk fosfat dibuat dari bahan baku batuan fosfat alami. Dalam batuan fosfat, ion fosfat terikat oleh kalsium sehingga tidak mudah larut dalam air. Tepung batuan fosfat sering diaplikasikan secara langsung ke lahan pertanian untuk menyediakan kebutuhan unsur P bagi tanaman. Namun, cara ini hanya efektif untuk jenis tanah masam (Wahida, dkk., 2007),

karena untuk melepas ion fosfat dari kalsium diperlukan ion H^+ . Di tanah-tanah tidak masam, aplikasi batuan fosfat secara langsung tidak efektif karena tidak cukup mengandung H^+ .

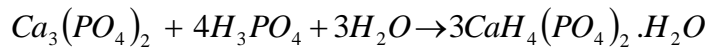


Gambar 1. Batuan Fosfat

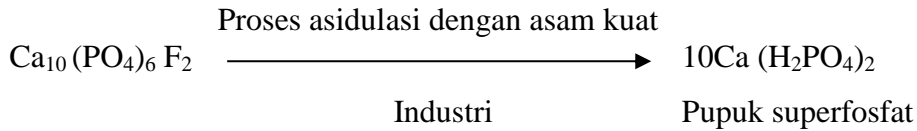
Di dalam industri, produksi pupuk fosfat dimulai dari produksi asam fosfat. Produksi asam fosfat dapat dilakukan melalui dua cara yang berbeda, yaitu proses basah dan proses kering. Di dalam proses basah, asam sulfat biasanya digunakan untuk melepas atau melarutkan ion fosfat dari ikatan kalsium fosfat (Rhem, dkk., 2002). Bahan baku utama untuk pembuatan pupuk fosfat adalah deposit batuan yang mengandung fosfat yaitu kalsium fosfat ($Ca_3(PO_4)_2$). Batuan fosfat terlebih dahulu diolah dengan menambahkan asam sulfat untuk mengubah ion PO_4^{3-} menjadi ion $H_2PO_4^-$.



Kadar P_2O_5 dalam batuan fosfat alam yang rendah ditingkatkan dengan proses asidulasi menggunakan larutan asam fosfat (H_3PO_4). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Husein, dkk., 1998) :

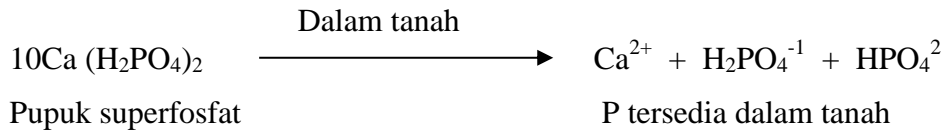


Proses asidulasi dapat digambarkan sebagai berikut :



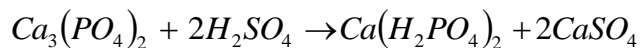
Reaksi ini berlangsung cepat.

Pupuk superfosfat bereaksi dalam tanah dapat dilihat dengan reaksi berikut :



Pada proses asidulasi ini tepung fosfat alam akan mengalami proses granulasi menjadi pupuk fosfat dengan ukuran tertentu. Apatit yang terkandung di dalamnya harus dapat larut secara cepat pada waktu pupuk digunakan (Hughes dan Gilkes, 1984).

Trikalsium fosfat ($Ca_3(PO_4)_2$) ditambah asam sulfat (H_2SO_4) menjadi monokalsium fosfat (sering disebut superfosfat) dan gypsum ($CaSO_4$) seperti pada persamaan reaksi berikut :



Selain asam sulfat, asam fosfat atau keduanya juga sering digunakan. Asam fosfat akan menaikkan kadar fosfat di dalam pupuk. Di dalam proses kering, batuan fosfat dipanaskan di dalam tanur elektrik yang kemudian menghasilkan asam fosfat yang lebih murni.

Dari proses basah, gypsum (CaSO_4) dihasilkan sebagai produk samping akibat penggunaan asam sulfat. Gypsum merupakan sisa reaksi di dalam pupuk fosfat. Sementara, penggunaan ultrasonik dalam produksi pupuk fosfat tidak menghasilkan gypsum karena tidak menggunakan asam sulfat. Dengan ultrasonik, ion H^+ yang digunakan untuk memproduksi fosfat terlarut (*orthophosphate*) merupakan hasil dari efek kavitasi ultrasonik. Dengan demikian pupuk fosfat yang dihasilkan akan lebih murni.

Langkah-langkah pembuatan Superfosfat :

1. Persiapan bahan fosfat

Sumber fosfat umumnya diperoleh dari batuan fosfat. Batuan fosfat ini tidak dapat digunakan langsung sebagai pupuk, karena sifat daya larutnya yang terlalu kecil dalam air. Batuan fosfat harus diubah menjadi senyawa fosfat yang larut dalam air, sehingga dapat diserap oleh akar tanaman. Batuan fosfat ini dimasukkan ke dalam reaktor harus dalam ukuran yang sangat kecil (berbentuk butiran-butiran halus), tidak berupa abu, untuk menghindari terhembus atau terbawa oleh gas lain.

2. Pencampuran dengan asam sulfat

Asam sulfat yang digunakan pada proses ini dapat diperoleh dari proses kontak ataupun proses kamar timbal, namun yang sering digunakan adalah asam sulfat yang berasal dari proses kontak. Karena asam sulfat yang dihasilkan lebih pekat sehingga memudahkan pencampuran dengan batuan fosfat.

3. Pembentukan superfosfat

Secara lengkap proses pembentukan superfosfat dapat dijelaskan sebagai berikut :

Mula-mula batuan fosfat dari tangki penyimpanan dibawa ke *surge hopper*, dimana dalam alat ini batuan fosfat dihancurkan (dihaluskan) sampai ukuran partikelnya kurang dari 100 mesh. Lalu, partikel-partikel batuan fosfat yang telah dihaluskan tersebut dibawa ke *weight feeder* dengan menggunakan *mastering screw*. Dari *weight feeder*, sejumlah tertentu partikel partikel batuan fosfat dimasukkan ke dalam *cone mixer* dan bersamaan dengan itu juga dimasukkan asam sulfat 93% dan sejumlah tertentu air. Lalu, campuran tersebut dipanaskan sampai terjadi reaksi pembentukan superfosfat. Superfosfat yang terbentuk bersamaan dengan hasil-hasil samping dari reaksinya dialirkan melalui slat conveyor (Sinaga, 2004).

D. Gelombang Ultrasonik

Teknologi ultrasonik pertama kali dikembangkan sebagai alat deteksi kapal selam dalam Perang Dunia I, dan berkembang sampai saat ini untuk berbagai penelitian. Suara yang dapat didengar oleh manusia (audiosonik) adalah gelombang suara dengan frekuensi antara 20 – 20000 Hz. Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik akustik dengan frekuensi di atas daerah frekuensi pendengaran manusia (>20 kHz). Gelombang ini merambat dalam medium padat, cair dan gas, karena gelombang ini merupakan rambatan energi sebagai interaksi dengan medium yang dilaluinya (Bueche, 1986). Gelombang ultrasonik tidak bisa merambat pada ruang hampa sehingga proses transmisi pada ruang hampa tidak pernah terjadi (Dally, dkk, 1993).

Gelombang ultrasonik disebut juga gelombang suara dengan frekuensi tinggi. Suara adalah sebuah usikan (*disturbance*) yang merambat melalui suatu medium

udara, air pada suatu jaringan badan atau bahan padatan tertentu. Gelombang biasanya dinyatakan dengan frekuensi dan intensitasnya. Frekuensi dinyatakan dalam unit hertz (Hz), yakni jumlah osilasi per detik (Bueche, 1986).

Berdasarkan frekuensi, gelombang suara dapat dibedakan dalam beberapa bagian seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4. Pembagian gelombang suara berdasarkan frekuensinya

Nama	Frekuensi
Infrasonik	<20 Hz
Audiosonik	20 – 20000 Hz
Ultrasonik	>20000 Hz
Diagnostik	1 – 10 MHz

Sumber : Khanal, dkk., 2007

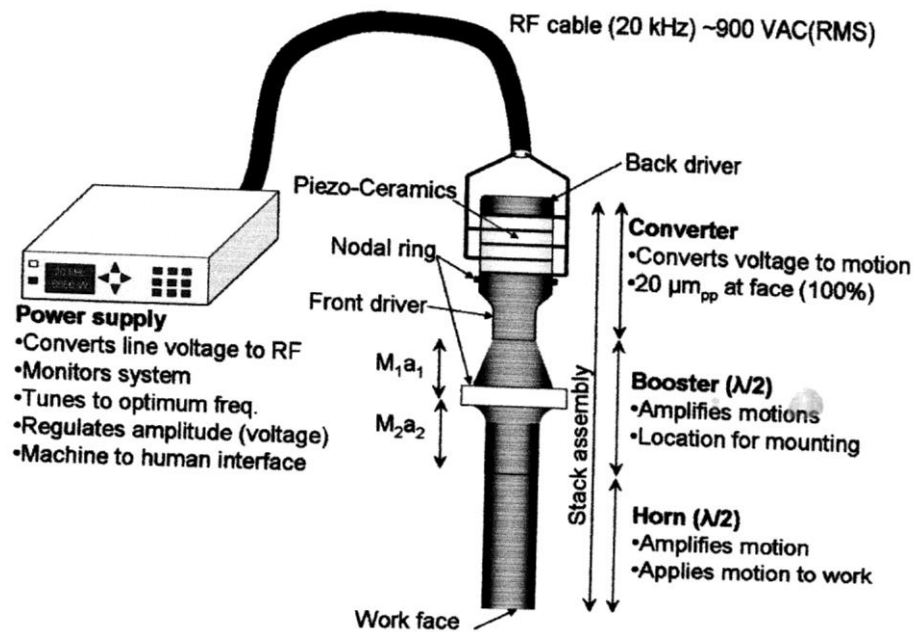
Gelombang ultrasonik dibagi menjadi 3 jenis, *destructive*, *non-destructive*, dan *biomedical inspections*. Pengujian *destructive* dengan frekuensi di bawah 20 kHz digunakan untuk pra pengeringan biji-bijian dan buah-buahan, karena mampu menyebabkan berubahnya struktur jaringan bahan. Pengujian *non destructive* didefinisikan sebagai kegiatan mengidentifikasi sifat fisik dan mekanis suatu bahan tanpa merusak atau mengganggu produk akhir sehingga diperoleh informasi yang tepat terhadap sifat dan kondisi bahan tersebut yang akan bermanfaat untuk menentukan keputusan akhir pemanfaatannya, frekuensinya 20 kHz - 50 kHz. Pengujian *biomedical inspections* untuk mendeteksi penyakit-penyakit berat tertentu pada tingkat awal, seperti tumor, hati dan otak serta digunakan untuk alat USG (*ultrasonografi*) pada ibu hamil, frekuensinya di atas 50 MHz (Yatarif, 2008).

E. Prinsip Kerja Ultrasonik

Mekanisme yang digunakan untuk menghasilkan energi ultrasonik dapat dibedakan menjadi dua yaitu : *magnetostrictive* dan *piezoelectric*. Teknologi *magnetostrictive* mengandalkan bahan-bahan yang dapat menghasilkan tegangan ketika berada di dalam medan magnet. Bahan nikel dan alloy Terfenol-D dikenal dapat menghasilkan tegangan magnetik yang besar. Sebaliknya, *piezoelectric* transduser bergantung pada bahan yang menghasilkan tegangan ketika dialiri arus listrik.

Tiga komponen utama sistem ultrasonik adalah: *converter/transducer*, *booster*, dan *horn (sonotrode)*. *Converter/transducer* berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi ultrasonik (getaran). *Booster* adalah amplifier mekanik yang berfungsi menaikkan amplitudo getaran yang dihasilkan oleh converter.

Horn adalah alat yang berfungsi untuk menyalurkan getaran ultrasonik ke medium (biasanya cairan). Susunan sistem ultrasonik (*converter*, *booster*, *horn*) disajikan seperti pada Gambar 2 (Khanal, dkk., 2007). Ketiga bagian tersebut disusun dan dirangkai dengan menggunakan klem.



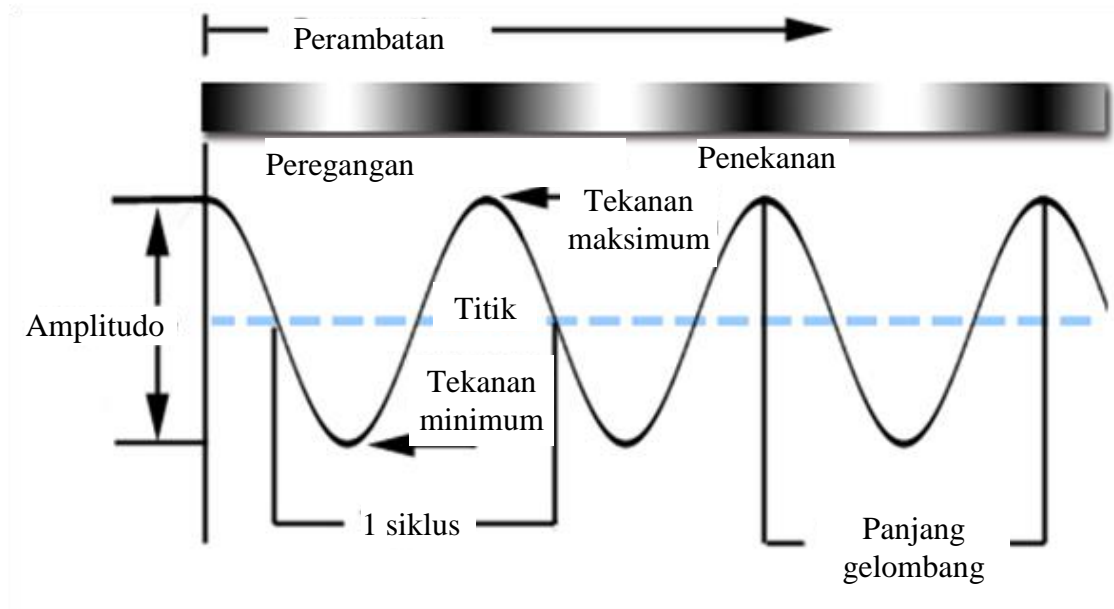
Gambar 2. Tipikal susunan sistem ultrasonik piezoelektrik 20 kHz

Tipe gelombang ultrasonik yang digunakan di dalam penelitian ini adalah gelombang longitudinal. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang memiliki arah getar sejajar dengan arah rambatnya, contohnya adalah gelombang pada slinki yang digerakkan maju mundur. Ketika slinki digerakkan maju mundur maka pada slinki akan terbentuk rapatan dan renggangan. Satu panjang gelombang pada gelombang longitudinal didefinisikan sebagai jarak antara dua pusat rapatan yang berdekatan atau jarak antara dua pusat renggangan yang berdekatan. Rumus dari kedua gelombang tersebut diantaranya adalah :

$$V = \lambda f \quad V = \lambda/T$$

Keterangan : T = periode gelombang (s)
V = cepat rambat gelombang (m/s)
 λ = panjang gelombang (m)
f = frekuensi gelombang (Hz)

Untuk memperjelas pengertian gelombang longitudinal dapat diilustrasikan dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 3. Proses gelombang

Besaran-besaran tersebut pada gambar dapat diterangkan sebagai berikut :

1. **Frekuensi**

Frekuensi adalah jumlah siklus yang dibuat suatu gelombang dalam satu detik. Satu siklus terdiri dari satu semi-gelombang positif dan satu semi-gelombang negatif. Ukurannya adalah Hertz/Hz (1/sec). Suatu gelombang frekuensi 1 Hz menyelesaikan satu siklus setiap 1 detik.

2. **Periode**

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus penuh.

3. Panjang Gelombang

Panjang gelombang adalah jarak antara dua titik yang berhubungan (contoh dua titik maksimum yang berurutan) sepanjang gelombang. Nilainya dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dimana, c = kecepatan suara dalam medium referensi (kecepatan suara di udara 344 m/sec).

4. Amplitudo

Amplitudo adalah unit yang mengukur jarak antara titik ekuilibrium dengan titik maksimum dari gelombang.

5. Siklus

Siklus adalah kejadian yang berlangsung dan berulang terus dalam kurun waktu tertentu.

Ketika dialiri arus listrik, transduser akan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk getaran ultrasonik. Amplitudo luaran dari transduser umumnya kecil, oleh karena itu perlu diperkuat dengan booster. Getaran ultrasonik tersebut kemudian dipancarkan (excited) ke medium cair oleh horn. Getaran mengandung energi dalam bentuk gelombang. Perambatan energi gelombang terjadi dari satu partikel ke partikel yang lain tanpa disertai perpindahan partikelnya. Perambatan energi ini menimbulkan tekanan dan regangan. Fenomena ini di dalam medium cair akan menimbulkan microbubbles dan pecah seketika yang disebut kavitasi. Kavitasi menimbulkan dua fenomena yaitu : *Hydrodynamic shear forces* dan *sonochemical reactions*. Gaya gesek

hidrodinamik mempercepat gesekan dan pengadukan, serta memecah partikel dalam ukuran mikro di dalam cairan (biasanya air). Reaksi *sonochemical* menghasilkan radikal seperti OH^- , HO_2^+ , H^+ , dan H_2O_2 yang sangat reaktif (Adewuyi, 2001).

Aplikasi teknologi ultrasonik di beberapa bidang ilmu telah banyak dilakukan. Ultrasonik berkekuatan rendah (<1 Watt) digunakan secara luas di bidang kedokteran dan bidang pengujian bahan secara non-destruktif. Di bidang kedokteran, teknologi ultrasonik digunakan untuk mendeteksi janin di dalam kandungan (USG). Ultrasonik juga digunakan untuk memecah batu ginjal. Di bidang industri, ultrasonik digunakan untuk membersihkan filter atau membran yang berukuran mikro. Di dalam pengujian non-destruktif, teknologi ultrasonik digunakan untuk mendeteksi kualitas produk-produk hortikultura, daging, dan produk pertanian yang lain. Di bidang lingkungan, ultrasonik digunakan untuk pengolahan sludge dari pengolahan air limbah. Sludge merupakan kumpulan sel bakteri yang berdinding sangat kuat sehingga sangat sulit untuk diolah secara biologis. Gaya gesek hidrodinamik dan ion-ion radikal yang dihasilkan dari kavitasi ultrasonik, akan memecah dinding sel yang selanjutnya akan memudahkan pengolahan lebih lanjut.

Dengan mekanisme yang sama, teknologi ultrasonik diduga dapat digunakan dalam proses pembuatan pupuk fosfat. Senyawa H_2O yang terkandung dalam air akan terurai menjadi ion H^+ dan OH^- karena gesekan partikel di medium air yang digetarkan oleh gelombang ultrasonik. Selanjutnya, ion-ion air yang telah terurai tersebut berikatan dengan unsur pada batuan fosfat.