

Sintesis Pupuk Nitrat Cair dengan Teknologi Murah dan Ramah Lingkungan sebagai Solusi Ketahanan Pangan Global

Muhammad Fadhillah Ansyari*, Miranda Talitha Zagita dan Nelson Saksono

Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, 16424

* Corresponding author: muhammad.fadhillah71@ui.ac.id

(Received: 19 Jul 2021 • Revised: 14 Aug 2021 • Accepted: 17 Aug 2021)

Abstract

Global agriculture is now facing challenges. Nitrogen fertilizers produced by the Haber-Bosch process consume 1-2% of the world's total energy production and produce 300 million tons/year of CO₂ pollutants, and account for 2.5% of greenhouse gases annually. In addition, the COVID-19 pandemic caused disruptions in the fertilizer industry supply chain, resulting in increased global fertilizer prices. Plasma electrolysis is a cheap green technology in producing liquid nitrate fertilizer from the air, using the radical species OH. The research aims to produce liquid nitrate fertilizer through plasma electrolysis with power and airflow rate. Fertilizer performance testing is conducted on chili, tomatoes, and mustard. This method is performed on batch reactors using various airflow rates of 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 lpm, power 500W; 600W; 700W, and nitrate fertilizer concentrations tested 100, 200, and 300 ppm. The results showed greater power, and airflow increased nitrate production. The study produced the largest nitrate using electrolyte 0.01M K₂SO₄ with 0.01M K₂HPO₄ 700W and 0.8 lpm. The provision of liquid nitrate fertilizer shows better results than without fertilizer or commercial fertilizers. Chili showed the highest percentage increase. The optimum dose of each plant is 100 ppm chili, 200 ppm tomatoes, and 200 ppm mustard.

Abstrak

Sektor pertanian global kini menemui tantangan. Pupuk nitrogen diproduksi dengan proses Haber-Bosch mengonsumsi 1-2% total produksi energi dunia dan menghasilkan polutan CO₂ 300 juta ton/tahun serta menyumbang 2,5% gas rumah kaca setiap tahunnya. Selain itu, pandemi COVID-19 menyebabkan disrupsi supply chain industri pupuk, mengakibatkan harga pupuk global meningkat. Teknologi elektrolisis plasma merupakan green technology murah dalam memproduksi pupuk nitrat cair dari udara, menggunakan spesies reaktif radikal OH. Penelitian bertujuan untuk memproduksi pupuk nitrat cair melalui elektrolisis plasma dengan pengaruh daya dan laju alir udara. Pengujian kinerja pupuk dilakukan pada tanaman cabai, tomat, dan sawi. Metode ini dilakukan pada reaktor batch menggunakan variasi laju alir udara 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 lpm, daya 500; 600; 700W, dan konsentrasi pupuk nitrat yang diujikan 100, 200, dan 300 ppm. Hasil menunjukkan semakin besar daya, dan laju alir udara meningkatkan produksi nitrat. Penelitian menghasilkan nitrat terbesar saat menggunakan larutan elektrolit 0.01M K₂SO₄ dan 0.01M K₂HPO₄, daya 700W dan laju alir udara 0,8 lpm. Pemberian pupuk nitrat cair menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan tanpa pupuk maupun pupuk komersial. Tanaman cabai menunjukkan persentase peningkatan tertinggi. Dosis optimum setiap tanamannya adalah cabai 100 ppm, tomat 200 ppm, dan sawi hijau 200 ppm.

Keywords : Fertilizer, Nitrate, Nitrogen, Plant Growth, Plasma Electrolysis

PENDAHULUAN

Nitrogen merupakan unsur yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup khususnya tumbuhan untuk proses biosintesis. Nitrogen bebas (N_2) yang terkandung Pada atmosfer bumi, tidak dapat langsung digunakan oleh tumbuhan karena sulit untuk memecah ikatan N_2 menjadi nitrogen sederhana [1]. Proses produksi pupuk konvensional yang umum digunakan adalah proses Haber-Bosch (HB) dimana proses ini mengonsumsi total energi yang sangat besar (1-2% total produksi energi dunia), menggunakan gas alam sebagai bahan bakunya (2-3% total produksi gas alam), dan memproduksi emisi gas CO_2 yang sangat tinggi (300 juta ton/tahun) [2].

Karena menggunakan gas alam sebagai bahan bakunya, kebanyakan pabrik pupuk memiliki letak yang jauh dari konsumen. Hal ini menyebabkan tingginya harga pupuk dikarenakan harga transportasinya yang mahal. Untuk mengatasi mahalnya harga pupuk dan pupuk yang tidak ramah lingkungan, beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk mencari cara lain dalam memproduksi pupuk dan salah satunya dengan menggunakan metode elektrolisis plasma untuk menghasilkan pupuk cair nitrat. Elektrolisis plasma udara (EPU) merupakan teknologi terbaru yang merupakan pengembangan dari teknologi plasma dimana plasma dan udara dibentuk dalam fasa cair pada larutan elektrolit dengan menggunakan energi listrik. Selain itu, teknologi ini juga menghasilkan nitrat dalam bentuk cair [3]. Pada elektrolisis plasma, banyak spesi reaktif yang terbentuk dimana spesi reaktif tersebut dapat mencetuskan reaksi kimia yang tidak biasa pada suatu larutan dengan laju reaksi yang tinggi [4]. Selain itu, reaktivitas suatu larutan elektrolit mempengaruhi eksitasi elektron yang mengarah kepada pembentukan spesi reaktif. Semakin banyaknya spesi reaktif yang terbentuk, maka akan semakin banyak jumlah nitrat yang dihasilkan.

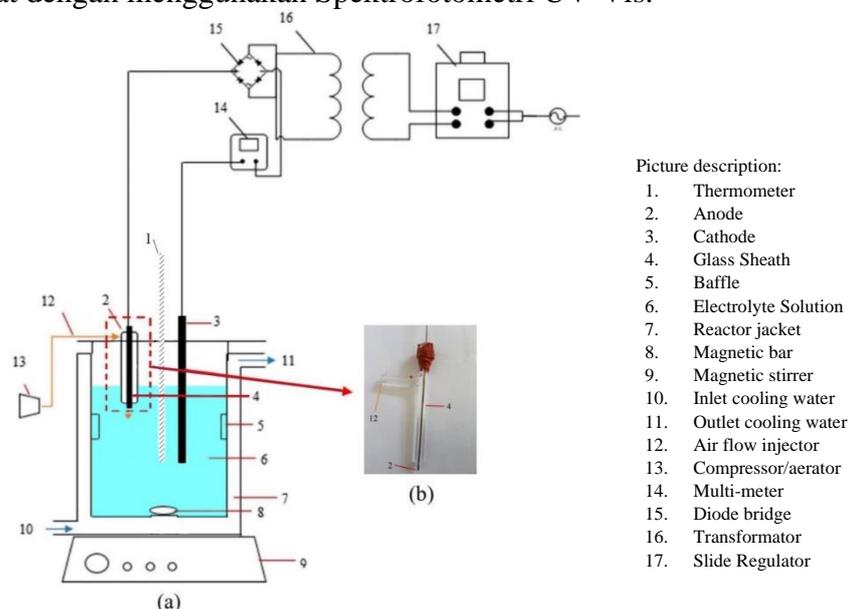
Tumbuhan membutuhkan unsur N, P, K, dan S dalam jumlah yang cukup banyak [5]. Dengan demikian, elektrolit campuran antara K_2SO_4 dan K_2HPO_4 digunakan untuk memenuhi kebutuhan unsur di dalam tanaman. Selain itu, elektrolit K_2SO_4 juga diuji untuk membandingkan hasil dari elektrolit campuran dengan elektrolit yang sudah terbukti menghasilkan nitrat. Selanjutnya, elektrolit yang menghasilkan nitrat lebih tinggi diujikan pada tanaman untuk membuktikan efektivitas pupuk cair nitrat pada pertumbuhan tanaman.

METODE PENELITIAN

Ekperimen ini menggunakan reaktor batch dalam 2 L beaker glass dengan bahan pyrex. Dilengkapi dengan sistem air pendingin yang menjaga suhu operasi pada 55-65°C. Menggunakan dua jenis elektrolit yaitu 0.02 M K_2SO_4 dan elektrolit gabungan antara 0.01 M K_2SO_4 dengan 0.01 M K_2HPO_4 yang memiliki volume total 1.5 L. Plasma terjadi pada anoda karena merupakan tipe elektrolisis anodik. Elektroda yang digunakan adalah tungsten dengan diameter 0.32 cm dan panjang 17.5 cm sebagai anoda serta stainless steel-316 dengan diameter 0.6 cm dan panjang 27 cm sebagai katoda. Pada bagian anoda juga dilengkapi dengan selubung kaca dan injektor udara. Anoda dan katoda dipisahkan dengan jarak 4 cm satu sama lainnya dan dihubungkan dengan sumber energi listrik. Reaktor ini juga dilengkapi dengan peralatan listrik yang terdiri dari multi-meter, dioda bridge, trafo, dan slide regulator. Gambaran representatif eksperimen yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.

Anoda ditutupi dengan selubung kaca sebagai masuknya injeksi udara. Sintesis nitrat ini dilakukan pada kondisi operasi kedalaman anoda 1.5 cm, suhu dijaga konstan dalam kisaran 55-65°C. Pada penelitian ini dilakukan variasi elektrolit 0.02 M K_2SO_4 dengan campuran 0.01 M K_2SO_4 dengan 0.01 M K_2HPO_4 yang kemudian jumlah nitrat tertinggi akan dilakukan variasi daya pada 500, 600, dan 700 watt pada tiga laju alir udara yang berbeda

yaitu 0.2, 0.4, dan 0.6 lpm. Kemudian hasil nitrat tertinggi selanjutnya akan dicari titik optimumnya pada daya dan laju alir tersebut sehingga mendapatkan jumlah nitrat optimum. Sampel diambil dalam interval waktu 5, 10, 15, 20, dan 30 menit masing-masing untuk mengukur produksi nitrat dengan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis.



Gambar 1. Skema Reaktor Elektrolisis Plasma dengan Injeksi Udara

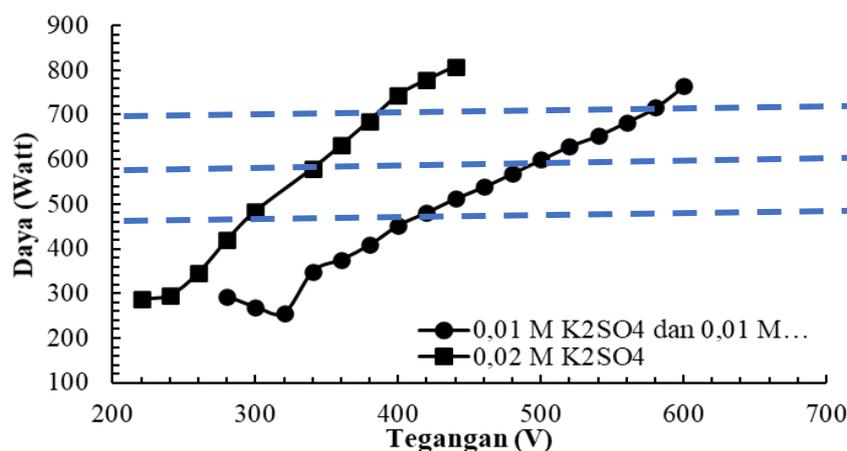
Setelah mensintesis pupuk cair nitrat, hasil sintesis terbaik tersebut dipilih untuk diuji efektivitasnya terhadap tanaman. Pupuk cair nitrat tersebut diencerkan ke konsentrasi 100, 200, dan 300 ppm nitrat. Kemudian pupuk tersebut diujikan pada tanaman cabai. Tanaman ini memiliki 3 sampel yang akan diujikan 5 perlakuan yang berbeda yaitu: tanpa pupuk (kontrol), EPU 100 ppm, EPU 200 ppm, EPU 300 ppm, dan pupuk nitrat komersial (KNO_3) 300 ppm. Media tanam yang digunakan terdiri campuran antara 50% cocopeat dan 50% vermiculite yang telah dicampurkan rata.

Selama fasa pertumbuhan, tanaman disiram secara konvensional dengan menggunakan gembor, 1-2 kali sehari masing-masing 10 mL. Sampel tanaman diukur setiap harinya dan ditimbang setelah mencapai umur 3 Minggu Setelah tanam. Sampel tanaman diambil dari tray semai kemudian dibersihkan dari media tanam yang menempel pada akar kemudian dibilas untuk memastikan tidak ada media tanam yang tersisa. Akar tanaman kemudian dikeringkan dengan tissue baru setelah itu ditimbang dengan timbangan digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Daya-Tegangan pada Elektrolisis Plasma

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu dan rerata tegangan antara dua elektrolit. Karakterisasi ini bertujuan untuk membandingkan produksi plasma antara dua elektrolit K_2SO_4 dan elektrolit campuran antara K_2SO_4 dengan K_2HPO_4 . Percobaan ini dilakukan dalam zona *glow discharge* karena pada zona ini spesi reaktif seperti $\bullet OH$, $\bullet H$, and $\bullet O$ terbentuk dan akan menghasilkan reaksi yang efektif untuk pembentukan pupuk cair nitrat.



Gambar 2. Arus dengan Tegangan pada elektrolit 0.02 M K_2SO_4 dan elektrolit campuran antara 0.01 M K_2SO_4 dan 0.01 M K_2HPO_4 [laju alir udara 0.2 L/min, kedalaman anoda 1.5 cm, suhu 55-65°C]

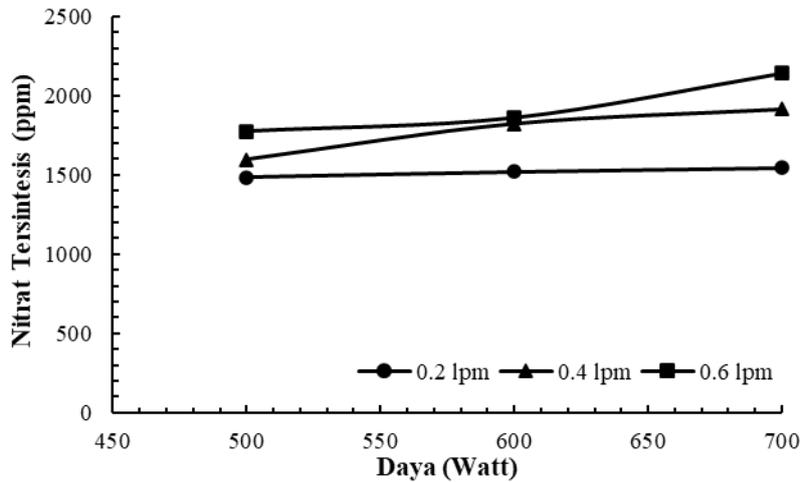
Gambar 2 menunjukkan ada dua titik, dimana titik tersebut merupakan titik balik yang dinamakan sebagai *critical voltage* ataupun *midpoint voltage* [6], [7]. Daerah di atasnya disebut dengan zona *glow discharge* dimana arus akan meningkat seiring dengan peningkatan tegangan. Pada zona ini plasma akan lebih stabil dan cahayanya akan lebih terang. Selain itu, spesi reaktif sudah banyak terbentuk dan proses terbentuknya nitrat terjadi pada zona ini.

Untuk mencapai suatu daya tertentu dengan perbedaan elektrolit maka tegangan yang dibutuhkan akan berbeda. Semakin kecil konduktivitas yang dimiliki oleh suatu elektrolit, maka tegangan proses yang dibutuhkan akan semakin tinggi. 0.02 M K_2SO_4 memiliki konduktivitas yang lebih tinggi yaitu 4.72 mS dan elektrolit campuran antara 0.01 M K_2SO_4 dengan 0.01 M K_2HPO_4 bernilai 2.4 mS. Maka dari itu, tegangan untuk yang dibutuhkan elektrolit campuran akan lebih tinggi untuk mencapai daya yang sama. Seiring dengan berlangsungnya reaksi, spesi reaktif seperti $\bullet OH$, $\bullet H$ dan H_2O_2 meningkat seiring dengan peningkatan konduktivitas awal dari larutan [8].

Sintesis Pupuk Cair Nitrat

Tabel 1. Jumlah Sintesis Nitrat pada Variasi Daya dan Laju alir [Larutan 0.01 M K_2SO_4 dan 0.01 M K_2HPO_4 , Kedalaman Anoda 1.5 cm, Suhu 55-65°C, Waktu 30 Menit]

Laju alir Udara (lpm)	Daya (Watt)	Nitrat Tersintesis	
		ppm	mmol
0,2	500	1484	35,90
	600	1518,5	36,73
	700	1543,5	37,34
0,4	500	1596,5	38,62
	600	1823	44,10
	700	1914,5	46,31
0,6	500	1775	42,94
	600	1860,5	45,00
	700	2141,5	53,54

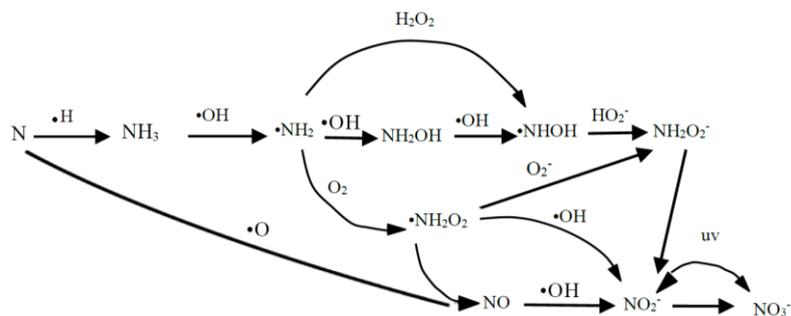


Gambar 3. Sintesis Nitrat pada variasi daya dan laju alir udara [Kedalaman Anoda 1,5 cm, Suhu 55-65°C]

Percobaan pertama adalah mencari daya optimum dalam menghasilkan sintesis pupuk cair nitrat. Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3, jumlah nitrat tertinggi didapatkan pada daya 700 watt dan laju alir udara 0.6 lpm dengan jumlah nitrat yang dihasilkan mencapai 2141.5 ppm. Peningkatan produksi nitrat seiring dengan peningkatan daya dan laju alir yang digunakan disebabkan oleh semakin tingginya daya menandakan semakin tingginya tegangan yang digunakan. Pada proses elektrolisis plasma udara, pada tegangan yang lebih tinggi maka spesi reaktif yang dihasilkan akan semakin banyak dimana spesi reaktif $\bullet\text{O}$ meningkat tajam [9]. Spesi reaktif $\bullet\text{O}$ tersebut dapat bereaksi dengan O_2 ataupun spesi reaktif $\bullet\text{N}$ yang merupakan hasil eksitasi elektron oleh plasma pada gas N_2 dari udara. Spesi reaktif $\bullet\text{O}$ mampu mengoksidasi NO menjadi NO_2 . Selanjutnya NO_2 akan menghasilkan HNO_3 seperti pada persamaan 1 [10].



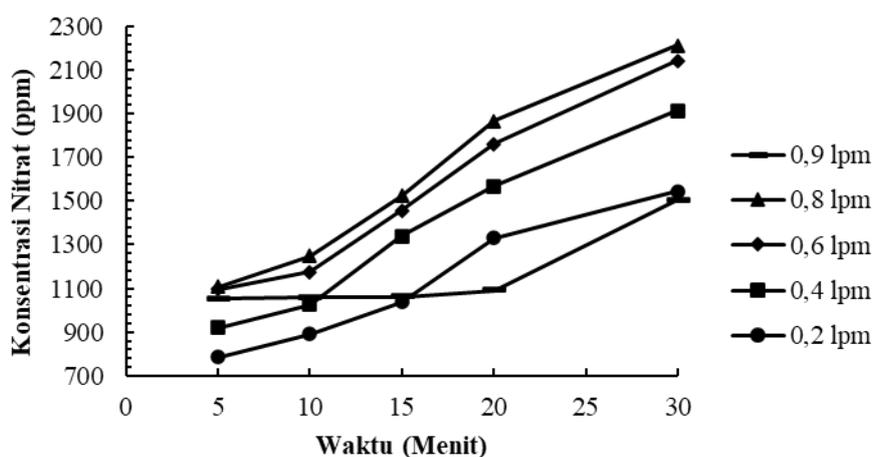
Spesi reaktif $\bullet\text{O}$ tersebut baru terbentuk setelah melewati tegangan tertentu. Sementara spesi reaktif $\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{H}$ sudah terbentuk di tegangan manapun. Spesi $\bullet\text{OH}$ merupakan spesi reaktif yang diproduksi banyak oleh plasma yang diakibatkan oleh ionisasi gas dari *efek joule heating* air yang berasal dari larutan [11]. Udara yang diinjeksikan kedalam anoda akan bereaksi dengan spesi-spesi reaktif dan akan membentuk senyawa nitrat terlarut di dalam larutan elektrolit. Potensi mekanisme yang terjadi dalam pembentukan nitrat digambarkan seperti pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 4. Potensi Mekanisme Pembentukan Nitrat oleh Spesi Reaktif
(Sumber: [2])

Selain itu tingginya daya menandakan energi yang diberikan terhadap plasma juga semakin tinggi. Dimana keberadaan energi yang tinggi pada elektron akan menyebabkan elektron menjadi semakin mudah tereksitasi sehingga terjadi peningkatan lucutan elektron yang keluar dari orbit yang menyebabkan produksi senyawa radikal akan semakin banyak serta plasma yang dihasilkan akan semakin terang [13].

Selanjutnya dilakukan variasi laju alir untuk mencari laju alir optimum pada daya 700 watt. Pada setiap daya, memiliki laju alir optimum sehingga tidak semua nilai laju alir udara dapat digunakan untuk seluruh daya. Hal ini disebabkan ketika terjadi peningkatan daya, maka kebutuhan udara untuk mengeksitasi elektron akan terjadi peningkatan dan sistem akan memproduksi spesi reaktif yang semakin banyak. Namun, ketika laju alir udara yang digunakan terlalu besar, hal tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan plasma sehingga akan berpengaruh terhadap kinerja plasma dalam memproduksi spesi-spesi reaktif yang berujung terhadap sintesis nitrat. Daya 700 dianggap paling optimum dan akan memasuki percobaan selanjutnya. Gambar 5 merupakan grafik hasil pengaruh laju alir pada daya yang sama terhadap sintesis nitrat.

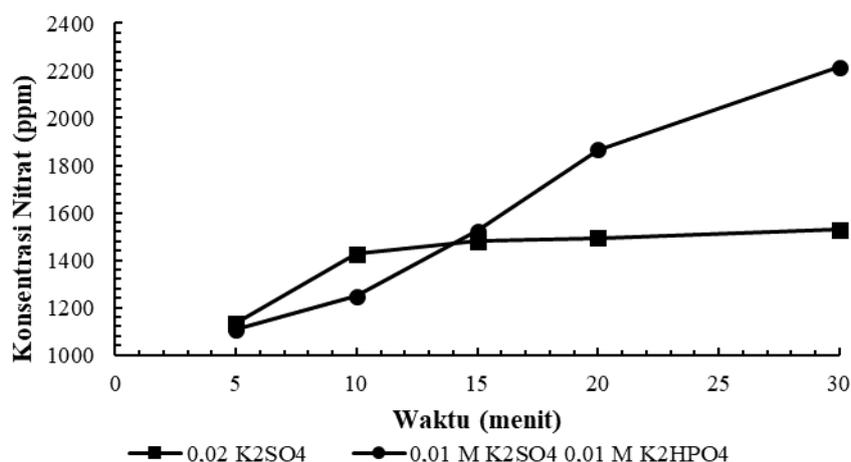


Gambar 5. Pengaruh Laju Air Udara terhadap Produksi Nitrat [Daya 700 Watt, Elektrolit Campuran antara 0.01 M K_2SO_4 dan 0.01 M K_2HPO_4 , Kedalaman Anoda 1,5 cm, Suhu 55-65°C]

Berdasarkan Gambar 5, peningkatan laju alir dari 0.2 hingga 0.8 lpm berdampak terhadap peningkatan nitrat. Namun ketika laju alir ditingkatkan lagi menjadi 0.9 lpm, dihasilkan performa sintesis nitrat yang kurang baik dimana hasilnya menurun. Hal ini dikarenakan pada laju alir udara yang tinggi akan terjadi fenomena *degassing* akibat kuatnya udara yang diinjeksikan ke dalam larutan. Fenomena *degassing* adalah proses masuknya gas ke suatu larutan untuk memindahkan molekul terlarut pada larutan ke fasa gas [14]. Laju alir udara yang terlalu kuat akan membuat molekul gas NO dan NO_2 yang terlarut pada larutan terdorong ke lingkungan, dimana menurut [12] gas NO dan NO_2 merupakan senyawa intermediet yang berperan penting dalam proses pembentukan nitrat. Maka dari itu dalam kasus ini apabila fenomena *degassing* terjadi terus menerus akan berakibat pada penurunan senyawa intermediet gas NO dan NO_2 , sehingga berpengaruh terhadap menurunnya produksi nitrat.

Percobaan selanjutnya adalah membandingkan hasil produksi nitrat antara elektrolit 0.02 M K_2SO_4 dengan elektrolit campuran 0.01 M K_2SO_4 dengan 0.01 M K_2HPO_4 untuk membandingkan hasil produksi nitrat oleh elektrolit yang sudah terbukti menghasilkan nitrat

dengan elektrolit campuran. Gambar 6 merupakan grafik hasil sintesis nitrat pada dua elektrolit yang berbeda.



Gambar 6. Sintesis Nitrat pada Dua Larutan Elektrolit [Daya 700 Watt, Laju Alir Udara 0,8 lpm, Kedalaman Anoda 1,5 cm, Suhu 55-65°C]

Dapat dilihat dari Gambar 6 bahwa sintesis nitrat oleh elektrolit 0.02 M K₂SO₄ memiliki hasil yang lebih banyak di menit-menit awal. Hal ini disebabkan karena elektrolisis plasma udara merupakan proses yang mempertukarkan ion, maka konduktivitas dari larutan mempengaruhi proses tersebut. Jika konduktivitas awal larutan rendah, maka hanya beberapa pembawa muatan yang berada di dalam sistem dan kemudian resistensi menjadi tinggi sehingga dibutuhkan tegangan yang cukup tinggi untuk menginisiasi plasma [15] dan proses pembentukan nitrat terjadi. Selanjutnya, telah ditemukan bahwa konsentrasi spesi reaktif seperti •OH, •H dan H₂O₂ meningkat seiring dengan peningkatan konduktivitas awal dari sebuah larutan [8].

Selain itu, pada Gambar 3 dapat terlihat pada larutan elektrolit 0.02 M K₂SO₄ setelah menit ke-10 hasil sintesis nitratnya sudah tidak mengalami kenaikan yang signifikan dan bahkan cenderung stabil. Hal ini diduga karena nitrat yang terbentuk sudah banyak terpapar oleh *uv* dari plasma sehingga mengganggu kesetimbangan dari reaksi pembentukan nitrat dan hal tersebut menginisiasi reaksi reduksi nitrat menjadi nitrit [16]. Sementara pada elektrolit campuran masih terlihat peningkatan sampai menit ke-30.

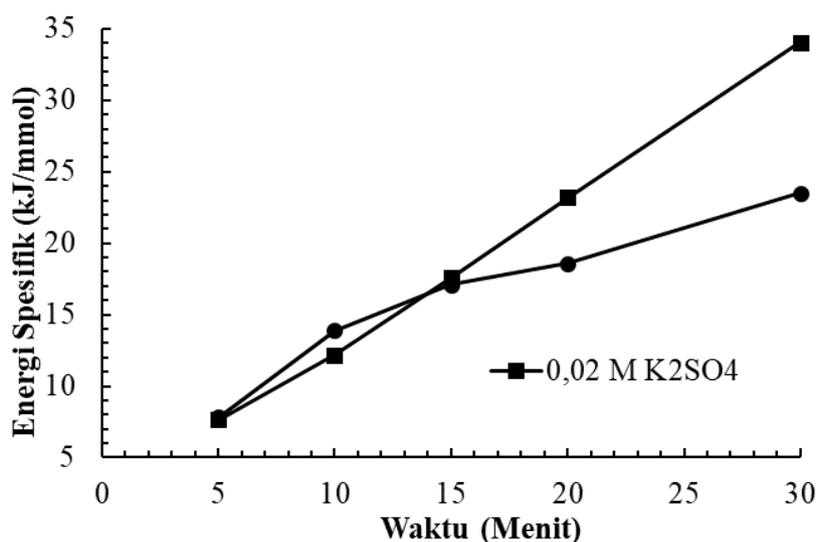
Semakin kecil konduktivitas yang dimiliki oleh suatu elektrolit, maka tegangan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu daya tertentu akan semakin tinggi. Penjelasan sama dengan di atas dimana peningkatan tegangan dapat menyebabkan semakin banyaknya spesi-spesi reaktif yang dihasilkan sehingga sintesis nitrat akan semakin banyak.

Pada penelitian ini jumlah nitrat lebih banyak dihasilkan oleh elektrolit campuran antara 0.01 M K₂SO₄ dengan 0.01 M K₂HPO₄. Dimana elektrolit campuran tersebut memiliki konduktivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan 0.02 M K₂SO₄, sehingga membutuhkan tegangan proses yang lebih tinggi. Dengan tingginya tegangan proses, diduga spesi reaktif •O akan banyak terbentuk. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa jalur pembentukan nitrat dengan jalur spesi reaktif •O akan menghasilkan NO dengan jalur yang jauh lebih singkat dibandingkan jalur spesi reaktif lainnya yaitu •OH ataupun •H. Maka berdasarkan Gambar 4, dapat dikatakan bahwa peningkatan jumlah nitrat yang terjadi pada elektrolit gabungan merupakan hasil dari peningkatan jumlah spesi reaktif •O. Dimana spesi reaktif •O dapat mendorong proses pembentukan nitrit [9] dan dengan bantuan *uv*, nitrit

tersebut dapat teroksidasi menjadi nitrat [16]. Tabel 2 merupakan tabulasi energi proses pada penelitian ini.

Tabel 2. Energi Proses pada Dua Elektrolit pada Daya 700 Watt dan Laju Alir Udara 0.8 L/min

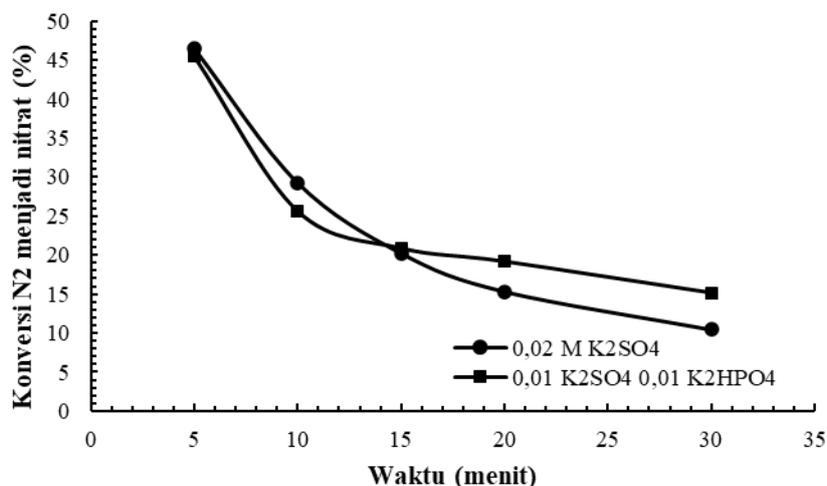
Elektrolit	Waktu	Nitrogen terinjeksi dalam udara (mmol)	Nitrogen dalam produk nitrat (mmol)	Konversi Nitrogen menjadi nitrat (%)	Energi spesifik (kJ/mmol)
0.02 M K ₂ SO ₄	10	11.9	35	29.3	12.16
	15	176.8	36	20.3	17.59
	20	235.8	36	15.3	23.22
	30	353.7	37	10.5	34.06
0.01 M K ₂ SO ₄ + 0.01 M K ₂ HPO ₄	5	58.9	27	45.5	7.83
	10	117.9	30	25.6	13.90
	15	176.8	37	20.8	17.09
	20	235.8	45	19.2	18.60
	30	353.7	54	15.1	23.53



Gambar 7. Energi Spesifik pada Dua Larutan Elektrolit [Daya 700 Watt, Laju Alir Udara 0,8 lpm, Kedalaman Anoda 1,5 cm, Suhu 55-65°C]

Energi proses berdasarkan Gambar 7 yang digunakan naik secara linear setiap satuan waktunya. Energi spesifik tertinggi didapat oleh 0.02 M K₂SO₄ dimana penambahannya sama dalam setiap satuan waktu dan untuk elektrolit campuran penambahannya dari menit ke-10 sangat kecil. Kondisi optimal untuk mensintesis pupuk didapatkan pada menit ke-5 oleh elektrolit campuran antara 0.01 M K₂SO₄ dengan 0.01 M K₂HPO₄ dengan energi sebesar 7.83 kJ/mmol. Jika konsumsi energi proses ini dibandingkan dengan proses haber-bosch, energi yang dibutuhkan oleh proses haber-bosch masih jauh lebih rendah yaitu berkisar antara 0.58 hingga 0.81 MJ/mol tergantung dari sumber bahan bakunya [17]. Namun jika dibandingkan

dengan elektrolit 0.02 M K_2SO_4 M, laju alir udara 0.8 L/min, pada menit ke 5 yang bernilai 19.86 kJ/mmol [18], proses ini memiliki konsumsi energi yang lebih rendah.

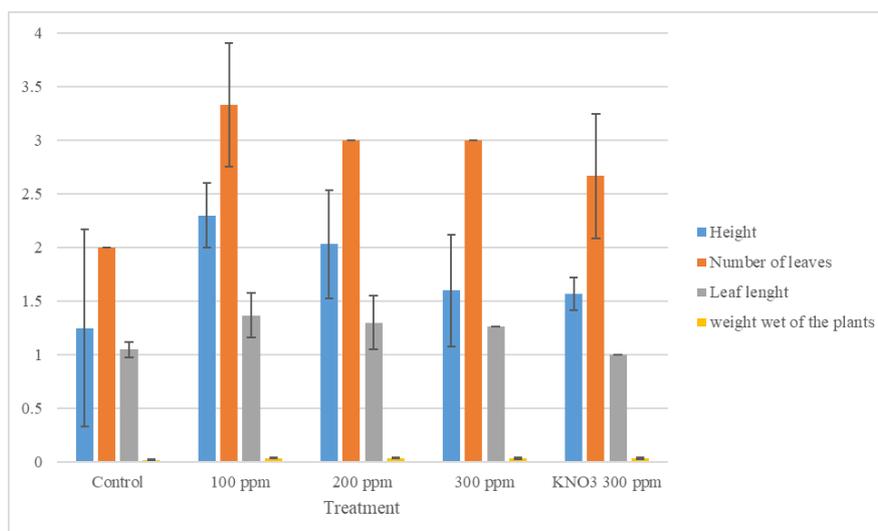


Gambar 8. Konversi N₂ menjadi Nitrat pada Setiap Interval Waktu [Daya 700 Watt, Laju Alir Udara 0,8 lpm, Kedalaman Anoda 1,5 cm, Suhu 55-65°C]

Bedasarkan Gambar 8. Konversi tertinggi berada pada 5 menit pertama dimana konversinya mencapai 46.5% untuk 0.02 M K_2SO_4 dan 45.5% untuk elektrolit campuran 0.01 M K_2SO_4 dan 0.01 M K_2HPO_4 . Semakin lama waktu proses maka konversinya akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh faktor kesetimbangan nitrat dimana proses sudah tidak mensintesis nitrat lagi dan cenderung menginisiasi reduksi nitrat menjadi nitrit [16].

Uji Efektivitas Pupuk pada Tanaman

Sejak hari pertama, tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun diukur setiap harinya. Sementara, berat basah tanaman ditimbang pada akhir minggu ke-3. Tanaman yang diberikan pupuk cair nitrat menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan kontrol. Gambar 9 merupakan hasil pertumbuhan tanaman cabai selama 3 minggu tanam



Gambar 9. Pertumbuhan Tanaman Cabai Selama 3 Minggu Tanam

Bedasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 9, pada setiap parameter yang diukur dosis 100 merupakan dosis terbaik pada tanaman cabai. Dimana persentase perbedaan pada setiap parameternya dapat dibidang berbeda nyata dengan rincian yaitu tinggi tanaman (13.3-15.2%), jumlah daun (33.3-40%), panjang daun (17.1-23.2%), dan berat basah tanaman (43.94-46.63%). Cabai membutuhkan jumlah nitrogen yang cukup sedikit (hanya 100 ppm) dikarenakan hanya dibutuhkan pada pertumbuhan daunnya saja dikarenakan batang tanaman cabai memiliki struktur tegak dan berkayu sehingga membutuhkan unsur N yang sedikit.

Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa pupuk cair nitrat menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan pupuk komersial. Hal ini disebabkan oleh sintesis pupuk cair nitrat dengan menggunakan unsur-unsur tambahan yang terkandung didalam pupuknya seperti P, K, dan S yang memiliki peran penting dan dapat menunjang pertumbuhan tanaman.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, sintesis nitrat yang dibentuk oleh elektrolisis plasma dalam dua elektrolit dipelajari secara sistematis. Kesimpulan yang dapat ditarik adalah hasil sintesis nitrat oleh elektrolit campuran antara 0.01 M K_2SO_4 dan 0.01 M K_2HPO_4 memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan 0.02 M K_2SO_4 ; Dimana hasil tertingginya didapatkan pada kondisi daya 700 watt, laju alir udara 0.8 L/min, kedalaman anoda 1.5 cm selama 30 menit mencapai 2213 ppm dengan energi spesifik sebesar 23.53 kJ/mmol. Berdasarkan efektivitas proses diperoleh jumlah nitrat dengan keadaan paling efektif oleh elektrolit campuran antara 0.01 M K_2SO_4 dengan 0.01 M K_2HPO_4 pada daya 700 watt, laju alir udara 0.8 L/min, kedalaman anoda 1.5 cm selama 5 menit adalah 1109 ppm; Proses tersebut dinilai paling efektif karena memiliki energi spesifik terendah yaitu 7.83 kJ/mmol dengan konversi atom nitrogen terbesar sebesar 45.5%. Pemberian pupuk cair nitrat dengan metode elektrolisis plasma udara menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol ataupun pupuk komersial; Dimana hasil pupuk cair nitrat dengan metode EPU memiliki hasil dengan rincian: tinggi tanaman (21.9-45.7%), jumlah daun (33.3-40%), panjang daun (17.1-23.2%), dan berat basah tanaman mencapai (43.94-46.63%) dengan dosis optimumnya adalah 100 ppm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai secara parsial oleh Hibah Publikasi Internasional Terindeks dari Direktorat Riset dan Pengembangan Universitas Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sergei, "Nitrogen Cycle," *IS Weather Water Atmos.*, vol. 1, pp. 1–10, 2012.
- [2] W. Wang, B. Patil, S. Heijkers, V. Hessel, and A. Bogaerts, "Nitrogen Fixation by Gliding Arc Plasma: Better Insight by Chemical Kinetics Modelling," *ChemSusChem*, vol. 10, no. 10, p. 2110, 2017, doi: 10.1002/cssc.201700611.
- [3] N. Saksono, I. Nugraha, M. Gozan, and S. Bismo, "PLASMA FORMATION ENERGY AND HYDROXYL PRODUCTION ON CONTACT GLOW DISCHARGE ELECTROLYSIS," 2014.

- [4] J. Ren, M. Yao, W. Yang, Y. Li, and J. Gao, "Recent progress in the application of glow-discharge electrolysis plasma," *Cent. Eur. J. Chem.*, vol. 12, no. 12, pp. 1213–1221, 2014, doi: 10.2478/s11532-014-0575-6.
- [5] B. Çalışkan and A. C. Çalışkan, "Potassium Nutrition in Plants and Its Interactions with Other Nutrients in Hydroponic Culture," *Potassium - Improv. Qual. Fruits Veg. Through Hydroponic Nutr. Manag.*, 2018, doi: 10.5772/intechopen.71951.
- [6] M. Marcucci, G. Ciardelli, A. Matteucci, L. Ranieri, and M. Russo, "Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes," *Desalination*, vol. 149, no. 1–3, pp. 137–143, Sep. 2002, doi: 10.1016/S0011-9164(02)00745-2.
- [7] S. K. Sengupta, R. Singh, and A. K. Srivastava, "A Study on the Origin of Nonfaradaic Behavior of Anodic Contact Glow Discharge Electrolysis," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 145, no. 7, 1998.
- [8] J. Gao, "A Novel Technique for Wastewater Treatment by CGDE," *Pakistan J. Biol. Sciences*, vol. 9, no. 2, pp. 323–329, 2008.
- [9] Y. Liu, B. Sun, L. Wang, and D. Wang, "Characteristics of light emission and radicals formed by contact glow discharge electrolysis of an aqueous solution," *Plasma Chem. Plasma Process.*, vol. 32, no. 2, pp. 359–368, 2012, doi: 10.1007/s11090-011-9347-7.
- [10] R. Burlica, M. J. Kirkpatrick, and B. R. Locke, "Formation of reactive species in gliding arc discharges with liquid water," *J. Electrostat.*, vol. 64, no. 1, pp. 35–43, Jan. 2006, doi: 10.1016/j.elstat.2004.12.007.
- [11] N. Saksono, I. A. Febiyanti, N. Utami, and Ibrahim, "Hydroxyl radical production in plasma electrolysis with KOH electrolyte solution," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1699, 2015, doi: 10.1063/1.4938367.
- [12] J. Wang, M. Song, B. Chen, L. Wang, and R. Zhu, "Effects of pH and H₂O₂ on ammonia, nitrite, and nitrate transformations during UV254nm irradiation: Implications to nitrogen removal and analysis," *Chemosphere*, vol. 184, pp. 1003–1011, 2017, doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.078.
- [13] 安岡康一, K. YASUOKA, 佐藤圭輔, and keisuke sato, "Development of Repetitive Pulsed Plasmas in Gas Bubbles for Water Treatment," *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 22–27, 2009.
- [14] C. L. Walters, P. N. Gillatt, R. C. Palmer, and P. L. R. Smith, "A Rapid Method for the Determination of Nitrate and Nitrite by Chemiluminescence," *Food Addit. Contam.*, vol. 4, no. 2, pp. 133–140, 1987, doi: 10.1080/02652038709373624.
- [15] X. Wang, M. Zhou, and X. Jin, "Electrochimica Acta Application of glow discharge plasma for wastewater treatment," *Electrochim. Acta*, vol. 83, pp. 501–512, 2012, doi: 10.1016/j.electacta.2012.06.131.
- [16] L. Huang, L. Li, W. Dong, Y. Liu, and H. Hou, "Removal of ammonia by OH radical in aqueous phase," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, no. 21, pp. 8070–8075, 2008, doi: 10.1021/es8008216.

- [17] L. Hollevoet, M. De Ras, M. Roeffaers, J. Hofkens, and J. A. Martens, “Energy-Efficient Ammonia Production from Air and Water Using Electrocatalysts with Limited Faradaic Efficiency,” *ACS Energy Lett.*, pp. 1124–1127, 2020, doi: 10.1021/acsenergylett.0c00455.
- [18] P. Salsabila, A. Haryansyah, and N. Saksono, “Comparing nitrate production through CGDE (contact glow discharge electrolysis) using Na₂SO₄ solution and K₂SO₄ solution,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2175, no. November, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1063/1.5134567.