

PEREDUKSIAN COX, NO_x, SOX, HC, DARI KENDARAAN BERMOTOR DENGAN MENGGUNAKAN PLASMA NON-TERMIK

Muhammad Nur^{1,2}; Bukit Yuta Wirawan²; Wahyu Adi Wijaya²; Ahmad Suseno^{1,4} Sumariyah^{1,3}

- 1). Pusat Studi Aplikasi Radiasi dan Rekayasa Bahan, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro
- 2). Devisi Aplikasi Plasma, Laboratorium Fisika Atom dan Nuklir Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro Semarang
- 3). Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro Semarang
- 4). Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Diponegoro Semarang

ABSTRACT

Reduction NO_x gas from motor vehicle 1486 cc emission have been done by using corona glow discharge plasma which awakened with power source from modified system ignition of car. NO_x Gas is result emission of motor vehicle 1486 cc at 2000 rpm. Flow NO_x source are joined with reactor. Corona glow discharge plasma awakened in the reactor with knife to plane electrode geometry configuration with power source from modified system ignition of car. Corona that happened in reactor which containing of motor vehicle gas emission 1496 cc will yield ion, electron, and energetic radical. NO_x will turn into compounds which do not dangerous and it's indicate that pollutants in reactor was reduced. To get the decomposition efficiency of NO_x it's require to be done the measurement of concentration of NO_x before and after reduced. The biggest decomposition efficiency of NO_x which obtained in this research is 81.38 % at distributor rotation equal to 1500 rpm with current equal to 80μA. Anion and cation analysis show there are cation NH₄⁺ and anion CO₃²⁻, SO₃²⁻, and SO₄²⁻, that giving hypothesize that one of compiler compound of crust result of system prototype to reduce NO_x are ammonium carbonate ((NH₄)₂CO₃), ammonium sulfide ((NH₄)₂SO₃), and ammonium sulphate ((NH₄)₂SO₄).

INTISARI

Telah dilakukan pereduksian untuk gas NO_x, SO_x, CO_x, HC pada emisi kendaraan bermotor 1486 cc dengan menggunakan plasma lucutan pijar korona yang dibangkitkan melalui sistem pengapian mobil termodifikasi. Gas NO_x merupakan hasil emisi kendaraan bermotor 1486 cc dengan putaran mesin 2000 rpm. Sumber gas alir NO_x akan dikopel dengan reaktor plasma. Plasma lucutan pijar dibangkitkan di dalam reaktor tersebut dengan konfigurasi pisau bidang silinder dengan sumber tegangan dari sistem pengapian mobil termodifikasi. Korona yang terjadi di dalam reaktor yang berisi gas emisi kendaraan bermotor 1486cc akan menghasilkan ion, elektron, dan radikal energetik. NO_x akan berubah menjadi senyawa-senyawa yang tidak berbahaya dan mengindikasikan polutan dalam reaktor tereduksi. Untuk memperoleh efisiensi dekomposisi NO_x maka perlu dilakukan pengukuran konsentrasi NO_x sebelum dan sesudah direduksi. Efisiensi dekomposisi NO_x terbesar yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 81.38 % pada putaran distributor sebesar 1500 rpm dengan arus sebesar 80μA. Analisa anion dan kation menunjukkan terdapatnya kation NH₄⁺ dan anion CO₃²⁻, SO₃²⁻, dan SO₄²⁻ yang memberikan hipotesa bahwa salah satu senyawa penyusun kerak hasil reduksi prototipe sistem reduksi NO_x adalah ammonium karbonat ((NH₄)₂CO₃), ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₃), dan ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₄).

PENDAHULUAN

Banyak terdapat kendaraan yang mengalami pembakaran tidak sempurna, biasanya dicirikan dengan mesin bergetar lebih keras, cepat panas, ujung knalpot hitam, konsumsi bahan bakar boros dan

mesin tidak bertenaga. Keadaan ini tentunya akan menimbulkan polusi udara yang sangat besar dibandingkan dengan kendaraan dengan pembakaran sempurna, dan permasalahannya pembakaran yang sempurna jarang ditemukan pada

kendaraan bermotor. Hal ini berakibat kendaraan bermotor termasuk penyumbang polusi udara terbesar di dunia. Semakin tingginya nilai polusi udara yang disebabkan oleh sisa gas buang kendaraan bermotor tentunya akan mengakibatkan dampak yang sangat besar bagi kesehatan manusia, maka dari itu diperlukan upaya pencegahan atau minimal pengurangan kadar polusi di udara. Telah banyak cara yang dicoba untuk mengurangi besarnya polusi tersebut, diantaranya dengan penambahan sekat-sekat pada knalpot, kemudian salah satu yang banyak digunakan pada kendaraan saat ini adalah penggunaan katalisator (*catalytic converter*), tetapi penggunaan alat tersebut memiliki kendala bahwa alat tersebut akan menghambat saluran gas buang dan sangat rentan dengan zat timbal (Pb) yang merupakan campuran bahan bakar, zat timbal dapat membuat mampat saluran gas buang sehingga efisiensi kendaraan berkurang.

Kemudian untuk menanggulangi bahaya penurunan kualitas lingkungan akibat pembakaran dengan tanpa mengurangi efisiensi kendaraan bermotor, pengendalian gas-gas polutan dilakukan dengan salah satu cara diantaranya melalui pemanfaatan teknologi Plasma Non Termik (PNT) pada tekanan atmosfer [1-4]. PNT adalah suatu keadaan dimana gas terionisasi sebagian dan energi elektron jauh lebih besar dari energi ion dan energi molekul netral. Teknologi PNT untuk pereduksian emisi gas buang didasari atas sifat plasma jenis yakni mudahnya plasma jenis tersebut menghasilkan senyawa-senyawa radikal bebas (*free radical*) [1, 3-5]. Berbagai penelitian yang dipublikasikan menunjukkan bahwa keuntungan utama pada proses pereduksian oleh NTP adalah dapat dengan mudah menseleksi energi listrik yang ditransferkan ke elektron agar mampu mengionisasi gas yang dalam hal ini gas emisi. Energi listrik yang ditransferkanpun dapat dibangkitkan oleh sistem pengapian mobil termodifikasi

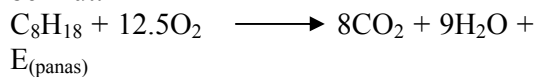
Pereduksian oleh NTP terdiri dari beberapa tahapan seperti ionisasi, eksitasi, disosiasi, transfer muatan, attachment dan rekombinasi (radikal-radikal, elektron-ion, ion-ion) dan reaksi radikal-radikal. Penelitian tentang plasma non-termik untuk pengendalian gas emisi pembakaran hidrokarbon sebelumnya telah dilakukan telah dilakukan oleh Nur dkk, yakni pembangkitan plasma non-termik menggunakan teknik lucutan pijar korona pada konfigurasi geometri elektroda titik-bidang (*point-to-plane electrode geometry*) dengan sampel gas CO₂ murni serta aditif uap air, NH₃ dan gas Ar murni. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah kemampuan reduksi gas CO_x pada percampuran gas CO₂ dan aditif dengan persentase pereduksian sebesar rata-rata 83 %.

Pereduksian NO_x dengan menggunakan Plasma Non Termik (PNT) telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Mezuno, dkk., 1995; Ohkubo, dkk., 1997; Dinelli, dkk., 1990 dan Zhou dkk., 1996 dan Ha Kim, 2002. Gas buang kendaraan bermotor yang didalamnya terkandung gas NO_x dikondisikan menjadi fase plasma non-termik dengan menggunakan teknik plasma lucutan pijar korona. Selanjutnya dalam fase plasma non-termik, gas buang kendaraan bermotor akan mengalami reaksi radikal bebas yang mengakibatkan terjadinya proses disosiasi dan rekombinasi antara gas NO_x dengan gas-gas lain yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor sehingga menghasilkan senyawa-senyawa baru dan mereduksi kadar NO_x.

Model untuk pereduksian NO_x

Pereduksian Nitrogen Oksida dari pembakaran hidrokarbon kendaraan bermotor merupakan salah satu kajian penting dari proses yang dapat dilakukan pada kondisi Plasma Non Termik. Jalur reaksi yang terjadi dapat dilihat pada gambar no2 Pada penelitian ini, proses pereduksian NO_x dilakukan dengan menggunakan prototipe sistem reduksi

NO_x melalui teknik lucutan pijar korona didalam reaktor plasma berkonfigurasi geometri elektroda pisau-bidang (*knife-to-plane electrode geometry*) sebagai perangkat utamanya. Gas NO_x yang digunakan berasal dari buangan kendaraan bermotor dengan tidak menggunakan aditif. Penggunaan elektroda pisau-bidang diharapkan akan membangkitkan daerah plasma yang lebih luas disepanjang ujung pisau dibandingkan dengan elektroda titik-bidang yang hanya terpusat di ujung titik. Menurut Benitez (1993), pembakaran terhadap hidrokarbon dalam keadaan sempurna (*stoikiometris*), pembakaran pada bensin atau oktana (C₈H₁₈), akan menghasilkan CO₂ dengan reaksi sebagai berikut:



Proses pembakaran tidak sempurna pada hidrokarbon terjadi bila selama proses pembakaran terdapat perbandingan kandungan bahan bakar yang lebih banyak dari oksigen dalam campuran. Proses pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan CO₂, uap air (H₂O), SO_x, NO_x, CO, serta senyawa hidrokarbon tak terbakar (HC) yang menimbulkan polusi udara. Karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan sulfur oksida (SO_x) merupakan polutan yang tetap mempertahankan bentuknya di udara bebas seperti saat pembuangan (polutan primer). Polutan-polutan tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung memberikan efek negatif bagi manusia seperti pembentukan karboksihemoglobin (COHb) dari pengikatan CO dengan hemoglobin, peningkatan temperatur permukaan bumi (efek rumah kaca) akibat peningkatan kadar CO₂ di udara, gangguan saluran pernafasan, hujan asam yang disebabkan reaksi antara NO_x atau SO_x dengan air di udara, serta pembentukan *photochemical smog* akibat reaksi berantai antara HC dengan N₂, O₂ dengan katalis sinar matahari [1, 4, 5].

Pada tahun 1930-an terjadi wabah penyakit paru-paru dan saluran pernapasan dalam proporsi epidemik di beberapa tempat di dunia, yang mengakibatkan tingkat kematian sangat tinggi. Wabah-wabah tersebut pada akhirnya menggugah masyarakat ilmiah untuk mempelajari dan memelihara kebersihan udara, karena kebutuhan dibutuhkan masyarakat tiap detik, maka strategi pengelolaan udara ditekankan pencegahan atau pengurangan, yaitu dengan mengurangi polutan udara yang dihasilkan industri dan kendaraan bermotor. Untuk menanggulangi bahaya penurunan kualitas lingkungan akibat pembakaran hidrokarbon, pengendalian gas-gas polutan harus dilakukan dengan salah satu cara diantaranya melalui pemanfaatan teknologi plasma non-termik pada tekanan atmosfer. Teknologi plasma non-termik didasari atas sifat plasma non-termik, yakni mudahnya plasma jenis tersebut menghasilkan senyawa-senyawa radikal bebas (*free radical*) [1, 3-5]. Lucutan korona sebagai salah satu teknologi plasma non-termik merupakan salah satu proses yang efektif dalam mereduksi SO_x, NO_x, dan CO_x dari gas buang kendaraan bermotor karena merupakan proses yang mudah dalam pengontrolan sisa reduksi, mereduksi SO_x, NO_x, dan CO_x dari gas buang secara simultan dengan efisiensi tinggi, dan merubah polutan menjadi senyawa yang ramah terhadap lingkungan [1, 5]. Sulfur oksida merupakan senyawa bervariasi dimana umumnya yang menjadi polutan udara adalah sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃). Sulfur dioksida merupakan gas yang tidak berwarna, tak mudah terbakar, mempunyai bau menyengat dan kelarutan yang tinggi dalam air. SO₂ dapat bereaksi secara fotokimia atau katalisis dengan komponen lain dan membentuk SO₃, tetapan H₂SO₄, dan garam asam sulfat. Ketika medan listrik diberikan pada gas, elektron energetik akan mentransferkan energinya pada gas molekul melalui tumbukan, eksitasi

molekul, tangkapan elektron, disosiasi, dan ionisasi [6]. Spesies aktif utama yang dihasilkan dari proses transfer energi elektron adalah ion, radikal dan atom tereksitasi [4]. Menurut Veldhuizen (2002), lucutan korona digunakan dalam pembentukan radikal bebas dalam plasma bertekanan atmosfer guna pembersihan udara dan air. Istilah radikal bebas merujuk pada atom atau gugus atom apa saja yang memiliki satu atau lebih elektron tak berpasangan dan tidak berada pada aras dasar. Mekanisme reaksi radikal bebas merupakan suatu deret reaksi-reaksi bertahap yang meliputi : tahap permulaan (inisiasi), tahap perambatan (propagasi), dan tahap pengakhiran (terminasi) [7]. Tahap inisiasi dalam mekanisme radikal bebas merupakan tahap pemaksapisahan molekul yang akan menghasilkan radikal bebas baru dimana ketika proses ini terjadi secara kolektif dinamakan tahap propagasi. Dalam tahap propagasi, terjadi reaksi berantai (daur propagasi) antara radikal bebas dengan spesies gas yang berlangsung terus menerus hingga radikal bebas menjadi stabil dan tak reaktif. Ketika radikal bebas telah menjadi tidak reaktif, maka tahap pengakhiran (terminasi) telah terjadi [7]. Radikal bebas dapat dihasilkan dalam lucutan korona karena energi yang dihasilkan dalam lucutan ditransfer kepada molekul gas dominan (N₂, O₂, H₂O, CO₂) melalui tumbukan sehingga memproduksi radikal yang berguna (O*, O₂*, N*, H*, OH*, HO₂*) dalam oksidasi polutan [1]. Menurut Orlandini (2000), radikal bebas terdistribusi secara tidak merata dalam plasma. Reaksi kimia yang terjadi dalam kondisi plasma bersifat sangat kompleks yang melibatkan ratusan proses reaksi. Dalam penelitian ini, pereduksian SO₂ melalui plasma lucutan pijar korona dilakukan pada gas emisi kendaraan bermotor di dalam reaktor. Komposisi gas emisi kendaraan bermotor yang terdiri atas berbagai macam gas seperti CO_x, SO_x, NO_x, uap air, dan HC, membuat

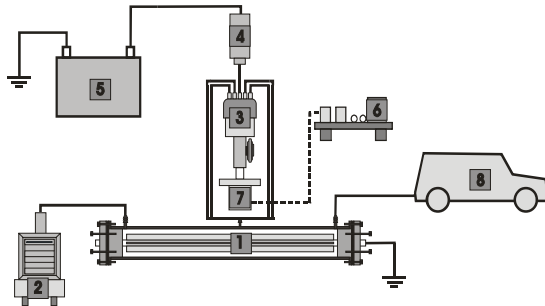
beragamnya radikal yang dapat muncul selama proses reaksi sehingga memungkinkan terbentuknya susunan aerosol yang berbeda-beda.

Pada penelitian ini, proses pereduksian SO₂ dilakukan dengan menggunakan prototipe sistem reduksi SO₂ melalui teknik lucutan pijar korona di dalam reaktor plasma berkonfigurasi geometri elektroda pisau-bidang (*knife-to-plane electrode geometry*) sebagai perangkat utamanya. Gas SO₂ yang digunakan berasal dari emisi kendaraan bermesin diesel tanpa menggunakan aditif. Penggunaan elektroda pisau-bidang diharapkan akan membangkitkan daerah plasma yang lebih luas disepanjang ujung pisau dibandingkan dengan elektroda titik-bidang yang hanya terpusat di ujung titik. Disamping itu, elektroda pisau-bidang diharapkan juga akan membangkitkan daerah plasma dengan lebih efektif dibandingkan dengan elektroda kawat-bidang dalam hal arah pergerakan spesies dalam plasma. Di dalam reaktor plasma, gas emisi kendaraan bermesin diesel yang di dalamnya terkandung gas SO₂ dikondisikan menjadi fase plasma non-termik dengan menggunakan teknik plasma lucutan pijar korona. Selanjutnya dalam fase plasma non-termik, gas buang kendaraan bermotor akan mengalami reaksi radikal bebas yang mengakibatkan terjadinya proses disosiasi dan rekombinasi antara gas SO₂ dengan gas-gas lain yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor sehingga menghasilkan senyawa-senyawa baru dan mereduksi kadar SO₂.

METODA PENELITIAN

Pereduksian NO_x dilakukan dengan memanfaatkan teknologi plasma non-termik yang dibangkitkan dengan teknik plasma lucutan pijar korona. Plasma lucutan pijar korona dihasilkan dalam prototipe sistem reduksi NO_x dengan reaktor plasma sebagai perangkat utamanya. Reaktor yang digunakan menggunakan konfigurasi geometri

elektroda pisau bidang. Elektroda pisau yang digunakan adalah plat stainless steel tipis yang dipatri pada sebuah poros, dan elektroda bidang yang digunakan juga berbahan stainless steel berbentuk silinder dengan panjang 75 cm dan diameter 4 cm. Kemudian elektroda pisau diletakkan pada tengah elektroda silinder dengan jarak ujung pisau dan bidang silinder sebesar 0.7 cm.



Gambar 1. Prototipe sistem pereduksi NO_x dari gas emisi kendaraan bermotor. 1.Reaktor pembangkit plasma; 2. Gas Analyser; 3. Distributor; 4. Koil; 5. Aki; 6. Penyedia tegangan rendah DC; 7. Motor DC; 8. Kendaraan Bermotor

Gambar 1 menunjukkan secara skematik sistem eksperimen. Potensial yang dibangkitkan oleh suatu sistem pengapian mobil termodefikasi digunakan untuk memproduksi plasma non termik pada reaktor pisau bidang (knife-cylindery reactor). Energi yang diberikan tidak tetap tetapi tergantung pada putaran distributor pembagi arus yang terdapat pada sistem pengapian mobil termodefikasi tersebut. Tegangan maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem ini mencapai 16 kV. Gas emisi yang berasal dari dialirkan ke dalam reaktor melalui pipa input dan keluar melalui pipa output setelah mengalami perlakuan di dalam reaktor. Gas emisi yang telah mengalami perlakuan diukur konsentrasinya dengan gas cromotografi. Arus lucutan pijar korona diukur dengan Multimeter (*Metra Point MA 3 E*). Sebelum dan sesudah reduksian kadar NO_x diukur dengan gas analyzer

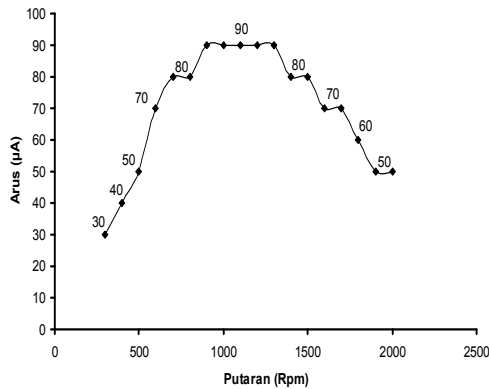
model (Horiba PG-250). Setelah pereduksian di dalam reaktor terdapat kerak yang berbentuk aerosol, dan kerak ini dianalisa dengan Spektroskopi FTIR (*Fourier Transformation Infra Red, Shimadzu Hyper FTIR-820 IPC*) dan juga dilakukan analisa kation-anion. Besarnya persentase reduksi NO_x atau sering disebut dengan (*Decomposition Efficiency* disingkat *DE*) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : $DE = (1 - C_t/C_o) \times 100\%$, dengan C_o adalah konsentrasi NO_x sebelum direduksi dan C_t adalah konsentrasi NO_x setelah direduksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi plasma pada korona negatif tampak dalam bentuk pijaran rumbai diujung elektroda pisau yang terkonsentrasi pada titik-titik tertentu atau tersebar merata pada rentang tertentu disepanjang sirip pisau bergantung pada ketajaman pisau dan kesimetrisan jarak antar elektroda pisau dan bidang. Semakin tajam pisau dan simetrisnya jarak antar elektroda akan membuat rumbai pijaran semakin tersebar merata. Selain itu, kondisi korona diketahui seiring timbulnya bunyi desis di dalam reaktor. Ionisasi partikel-partikel gas dalam lucutan pijar korona menghasilkan ion-ion bermuatan positif dan negatif serta radikal energetik yang berperan dalam mereduksi NO_x.

Putaran Distributor Dan Arus

Pada alat pendekomposisi NO_x ini digunakan sistem pengapian platina yang biasa digunakan pada kendaraan bermotor roda empat. Dalam penelitian ini, pereduksian NO_x dilakukan pada kondisi korona negatif dilakukan dengan cara elektroda aktif diberikan muatan negatif dan elektroda pasif diberi muatan positif. Pada kondisi korona negatif ini, rentang arus yang digunakan pembangkitan plasma berada pada rentang arus yang terukur antara 50.0 – 90.0 μA pada putaran distributor 500-1500rpm, seperti tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Putaran Distributor Dan Arus

Pada putaran distributor antara 300rpm hingga 900rpm dapat diketahui bahwa terdapat kenaikan arus yang sebanding dengan putaran distributor, dan pada rentang putaran distributor 900rpm hingga 1300rpm dapat dilihat terdapat arus terbesar dan stabil sebesar 90µA. Sedangkan pada putaran di atasnya, yaitu pada putaran 1300rpm hingga 2000rpm terdapat penurunan arus. Dan dapat kita ketahui bahwa putaran distributor berpengaruh pada arus yang dihasilkan. Terdapatnya kenaikan arus pada rentang putaran distributor 300rpm hingga 900rpm disebabkan karena pada rentang putaran tersebut, unjuk kerja kondensator pada distributor dapat menampung tegangan dari baterai menuju coil pengapian dengan sempurna. Dan pada rentang putaran distributor 900rpm hingga 1300rpm, arus yang terbaca pada sistem pendekomposisi stabil dan bernilai maksimal sebesar 90µA karena unjuk kerja kondensator pada distributor mencapai nilai maksimal yaitu dalam menyimpan tegangan yang akan diumpangkan kepada koil dari baterai. Sedangkan pada putaran 1300rpm hingga 2000rpm terdapat penurunan arus karena contact point atau platina pada distributor mulai terjadi gejala floating (melayang). Untuk mengatasi kekurangan di atas, sistem pengapian konvensional yang digunakan harus diganti

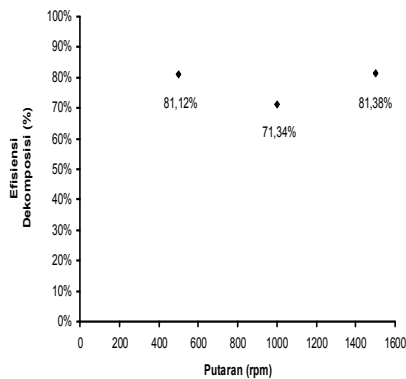
dengan sistem pengapian elektronik yang dikenal dengan nama CDI (*Capacitor Discharge Ignition*).

Reduksi NO_x

Sebelum pereduksian, gas buang kendaraan bermotor 1486 cc dimasukkan ke dalam reaktor plasma untuk diukur konsentrasi polutan NO_x di dalamnya menggunakan *gas analyzer*. Analisa yang dilakukan menunjukkan terdapatnya polutan dari gas buang hasil pembakaran kendaraan bermotor yakni NO_x dan konsentrasi NO_x yang terukur sebelum pereduksian ini merupakan acuan dalam membandingkan tingkat reduksi NO_x setelah menagalami perlakuan dengan PNT. Dalam kondisi plasma lucutan pijar korona, ionisasi berantai yang terjadi menyebabkan terdisosiasinya gas NO_x serta gas-gas lainnya yang terkandung dalam gas buang seperti uap air (H₂O), CO_x, SO_x dan HC menjadi ion-ion, elektron, dan radikal energetik. Proses terbentuknya radikal oleh pelipat gandaan elektron disebut tahap inisiasi dalam mekanisme reaksi radikal bebas. Berikutnya pada tahap propagansi di dalam mekanisme reaksi radikal bebas, radikal-radikal energetik yang tidak stabil akan bereaksi dengan molekul-molekul gas buang yang terdapat di dalam prototipe reaktor plasma sehingga terjadi disosiasi-disosiasi baru dari molekul-molekul gas tersebut.

Disosiasi pada NO_x akan menghasilkan ion N* dan O*, sedang disosiasi pada uap air (H₂O) akan menghasilkan H* dan OH*. Mekanisme reaksi radikal bebas berakhir ketika radikal-radikal yang dihasilkan dari proses disosiasi tersebut bereaksi membentuk senyawa baru yang stabil sehingga konsentrasi NO_x dalam gas buang menjadi berkurang. Hal ini memberikan penjelasan bahwa gas NO_x, uap air (H₂O), HC dan senyawa-senyawa lainnya seperti CO_x dan SO_x di dalam reaktor setelah dibangkitkannya plasma lucutan pijar korona, tidak lagi berada dalam keadaan

gas tetapi telah berubah menjadi ion atau radikal dan saling bereaksi, sehingga membentuk senyawa baru yang diantaranya berupa kerak yang mengendap di dalam reaktor, sehingga konsentrasi NO_x menjadi berkurang. Pada penelitian kali ini dilakukan pada keadaan gas buang kendaraan bermotor mengalir dalam reaktor (*flow*), hal ini dimaksudkan agar tidak terdapat hambatan pembuangan yang akan mempengaruhi performansi kendaraan apabila kendaraan dilengkapi dengan alat pereduksi NO_x tersebut. Putaran mesin kendaraan yang dijaga stasioner pada rentang 2000 rpm dimaksudkan untuk menstabilkan kecepatan alir gas buang ke dalam reaktor. Efisiensi dekomposisi NO_x yang terbaik sebesar 81,38% didapatkan pada saat putaran distributor sebesar 1500rpm dengan arus sebesar $80,0\mu\text{A}$ dan yang terburuk adalah 71.34% pada putaran distributor 1000rpm dengan arus sebesar $90,0\mu\text{A}$ karena pada keadaan ini terdapat kemungkinan besar terjadinya arc.

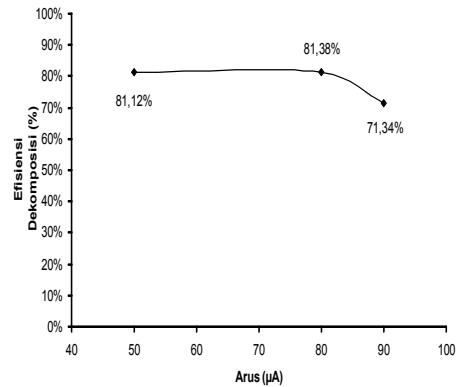


Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Putaran Distributor Dan Efisiensi Dekomposisi NO_x .

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pereduksian NO_x terbaik terdapat pada putaran distributor sebesar 1500rpm

Reduksi SO_2

Pada pereduksian SO_2 ini, sampel gas buang kendaraan bermotor direduksi dengan cara dibiarkan mengalir melalui reaktor plasma tanpa menahan gas tersebut

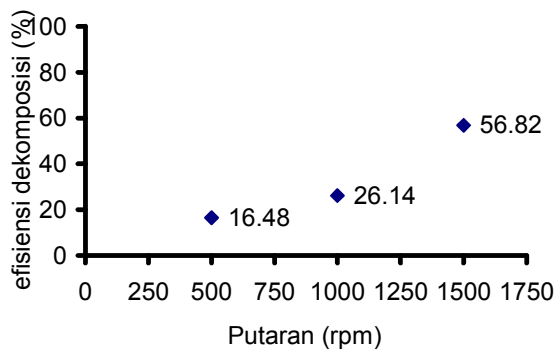


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Arus Dan Efisiensi Dekomposisi NO_x .

dalam kurun waktu tertentu di dalam reaktor. Dengan metode ini diharapkan nantinya alat ini dapat dipasang sistem pembuangan kendaraan bermotor tanpa mengurangi performansi dari kendaraan tersebut. Sebelum pereduksian dimulai, konsentrasi polutan gas SO_2 diukur dahulu dengan *gas analyzer*. Analisa yang dilakukan ini menunjukkan adanya polutan gas hasil dari pembakaran kendaraan bermotor, salah satunya SO_2 seperti tertera pada lampiran C. Konsentrasi SO_2 yang terukur ini digunakan sebagai pembanding terhadap konsentrasi gas setelah pereduksian gas di dalam reaktor plasma, sehingga diperoleh efisiensi dekomposisi SO_2 . Ketika didalam reaktor mengalami kondisi plasma lucutan pijar korona, terjadi ionisasi berantai yang menyebabkan terdisosiasinya gas SO_2 serta gas-gas lainnya yang terkandung dalam gas buang seperti uap air (H_2O), CO_x , NO_x dan HC menjadi ion-ion, elektron, dan radikal energetik. Proses terbentuknya radikal oleh pelipat gandaan elektron disebut tahap inisiasi dalam mekanisme reaksi radikal bebas. Berikutnya pada tahap propagansi di dalam mekanisme reaksi radikal bebas, radikal-radikal energetik yang tidak stabil akan bereaksi dengan molekul-molekul gas buang yang terdapat di dalam prototipe reaktor plasma sehingga terjadi disosiasi-disosiasi baru dari molekul-molekul gas tersebut. Disosiasi pada SO_2 akan

menghasilkan S* dan O*, sedang disosiasi pada uap air (H₂O) akan menghasilkan H* dan OH*. Mekanisme reaksi radikal bebas berakhir ketika radikal-radikal yang dihasilkan dari proses disosiasi tersebut bereaksi membentuk senyawa baru yang stabil sehingga konsentrasi SO₂ dalam gas buang menjadi berkurang. Hal ini memberikan penjelasan bahwa gas SO₂, uap air (H₂O), HC dan senyawa-senyawa lainnya seperti CO_x dan NO_x di dalam reaktor setelah dibangkitkannya plasma lucutan pijar korona, tidak lagi berada dalam keadaan gas tetapi telah berubah menjadi ion atau radikal dan saling bereaksi, sehingga membentuk senyawa baru yang diantaranya berupa kerak yang mengendap di dalam reaktor, sehingga konsentrasi SO₂ menjadi berkurang.

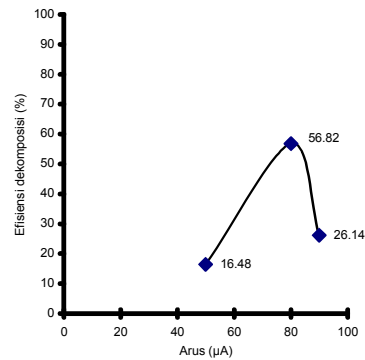
Hasil konsentrasi gas SO₂ sebelum dan sesudah pereduksian dapat dilihat pada lampiran B. Pada gambar 5 dibawah ini adalah hasil efisiensi dekomposisi SO₂ terhadap putaran distributor.



Gambar 5. Pengaruh putaran distributor terhadap efisiensi dekomposisi SO₂

Dari grafik diketahui bahwa efisiensi dekomposisi SO₂ terbaik diperoleh pada putaran distributor 1500 rpm, yaitu sebesar 56,82 %. Sedangkan efisiensi dekomposisi terkecil yaitu 16,48 % diperoleh pada putaran distributor 500 rpm. Efisiensi yang diperoleh pada putaran distributor 500 rpm, 1000 rpm dan 1500 rpm sebenarnya dipengaruhi arus yang

mengalir ke elektroda pada saat putaran distributor tersebut. Untuk mengetahui pengaruh arus terhadap efisiensi dekomposisi dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini



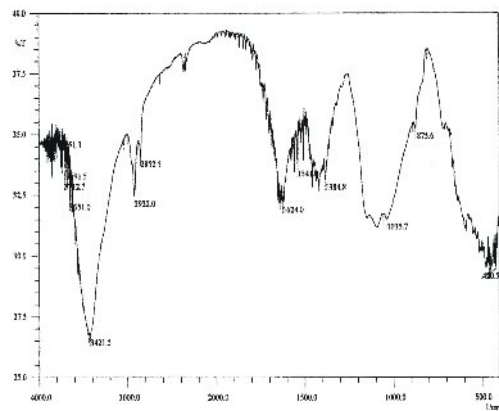
Gambar 6. Pengaruh arus terhadap efisiensi dekomposisi SO₂.

Pada arus 50 µA, efisiensi dekomposisi yang diperoleh kecil, hanya 16,48 %. Hal ini dikarenakan pada arus 50 µA lucutan korona masih kecil sehingga belum sempurna dalam mendissosiasi ion-ion yang ada di dalam reaktor plasma. Proses dekomposisi SO₂ mencapai puncaknya pada arus 80 µA, dengan efisiensi 56,82 %. Pada arus tersebut lucutan korona sudah mencapai puncaknya dan mendekati lucutan *arc*. Ketika arus ditambah lagi menjadi 90 µA, efisiensi dekomposisi yang diperoleh ternyata turun menjadi 26,14 %. Dari grafik diatas juga dapat diketahui bahwa arus yang diberikan pada reaktor pembangkit plasma berpengaruh kepada hasil pereduksian NO_x. Arus yang besar tidak terlalu bagus dalam pereduksian NO_x karena dengan pemberian arus yang sangat besar maka pada reaktor besar kemungkinan terjadinya *arc*. Pemberian arus yang terlalu kecil juga tidak menghasilkan pereduksian yang baik pada NO_x, karena arus yang kecil tersebut tidak dapat menghasilkan lucutan pijar korona yang maksimal. Sehingga dapat kita ketahui bahwa pereduksian NO_x yang

baik dilakukan pada arus terbesar sebelum terjadinya arc.

Analisa Anion Dan Kation Pada Kerak Hasil Dekomposisi NO_x

Untuk mempermudah proses analisa anion dan kation, terlebih dulu dilakukan analisa FTIR. Hasil dari analisa FTIR menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi radikal-bebas pada keadaan plasma dalam reaktor yang dibuktikan pada analisa kerak hasil proses pereduksian



Gambar 7. senyawa hidrokarbon yang tersisa dalam proses pembakaran

Pada gambar 7 diatas terdapat senyawa hidrokarbon yang tersisa dalam proses pembakaran ditunjukkan oleh adanya pita serapan yang menunjukkan gugus hidrokarbon seperti -CH₂- . Sedangkan identifikasi gugus NH seperti terbentuknya gugus -NH- dan gugus -NH₂ pada pita serapan sedang 1541,0 cm⁻¹ dan 1624,0 cm⁻¹ serta gugus -NH₂ regangan (*stretching*) pada pita serapan tajam 3421,5 cm⁻¹ menunjukkan kemungkinan terbentuknya kation NH₄⁺ sebagai hasil dari reaksi antara N* yang dihasilkan dari NO_x atau N₂ dengan H* dan H⁺ yang dihasilkan dari H₂O

Teramatinya gugus fungsi -CH₂-, CH₃-CO-O, CH₃-C, CO₃²⁻, -NH-, -NH₂, dan -NH₂ *stretching*, menunjukkan bahwa selama reaktor plasma beroperasi, telah terjadi reaksi radikal bebas dan rekombinasi antara senyawa-senyawa yang

terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor yang diujikan. Hal ini memberikan penjelasan bahwa gas NO_x, uap air (H₂O), HC dan senyawa-senyawa lainnya seperti CO, CO₂ dan SO₂ di dalam reaktor setelah dibangkitkannya plasma lucutan pijar korona, tidak lagi berada dalam keadaan gas tetapi telah berubah menjadi ion atau radikal dan saling bereaksi, sehingga membentuk senyawa baru yang diantaranya berupa kerak yang mengendap di dalam reaktor, sehingga konsentrasi NO_x menjadi berkurang.

Komposisi salah satu senyawa yang dihasilkan pada kerak hasil reduksi NO_x dapat diketahui melalui analisa anion dan kation pada kerak tersebut untuk mengetahui komposisi ion penyusunnya. Hasil dari analisis tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

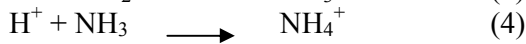
Tabel 1. Tabel Analisa Anion Kation

Uji	Hasil
Amonium (NH ₄ ⁺)	Positif
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	Positif
Nitrit (NO ₂ ²⁻)	Negatif
Nitrat (NO ₃)	Negatif
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	Positif
Sulfit (SO ₃ ²⁻)	Positif
Klorida (Cl)	Negatif

Dari tabel 1 dapat kita ketahui bahwa Amonium (NH₄⁺) bertindak sebagai kation pada salah satu senyawa yang terdapat pada kerak hasil reduksi NO_x, dan juga kita ketahui bahwa Karbonat (CO₃²⁻), Sulfat (SO₄²⁻), dan Sulfit (SO₃²⁻) bertindak sebagai anion. Dari hasil analisis anion dan kation tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa salah satu senyawa pembentuk kerak pada hasil reduksi NO_x adalah amonium karbonat ((NH₄)₂ CO₃), amonium sulfit ((NH₄)₂ SO₃), dan juga amonium sulfat ((NH₄)₂ SO₄) dengan N yang berasal dari disosiasi NO_x dengan reaksi seperti pada rumus 5 dan 6.

Pembentukan kation NH₄⁺ dapat terjadi melalui hipotesa reaksi bertahap

antara radikal N* dengan radikal H* dan ion H⁺ sebagai berikut :



Radikal N* pada kation NH₄ didapatkan dari disosiasi NO_x. Proses disosiasi tersebut dapat dijelaskan melalui hipotesa reaksi berikut :

Disosiasi NO₂ :



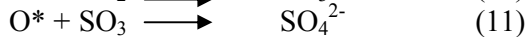
Disosiasi NO :



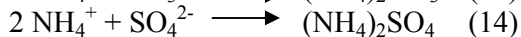
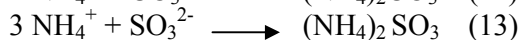
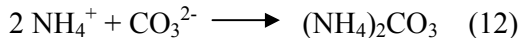
Radikal O* yang terbentuk dari disosiasi CO₂, CO, NO₂, NO, maupun H₂O dapat berikatan dengan CO₂ dan CO sehingga membentuk CO₃²⁻, proses tersebut dapat dijelaskan melalui hipotesa reaksi berikut :



Sedangkan Pembentukan SO₃³⁻ dan SO₄²⁻ dapat terjadi melalui reaksi bertahap antara radikal O* yang terbentuk dari disosiasi CO₂, CO, NO₂, NO, maupun H₂O yang berkaitan dengan SO atau SO₂ yang dijelaskan melalui hipotesa reaksi berikut :



Kemudian senyawa anion yang terbentuk diatas dapat bereaksi lebih lanjut dengan kation NH₄⁺ melalui hipotesa reaksi:



Sehingga dapat diasumsikan melalui hipotesa diatas bahwa senyawa penyusun kerak hasil pereduksian NO_x dengan menggunakan reaktor plasma lucutan pijar korona adalah amonium karbonat ((NH₄)₂ CO₃), amonium sulfat

((NH₄)₂ SO₃), dan juga amonium sulfat ((NH₄)₂ SO₄).

Menurut Tseng [6] pereduksian CO_x dan SO_x akan efektif apabila NO_x telah direduksi terlebih dahulu dan akan lebih mudah dibersihkan dari pipa pembuangan gas buang kendaraan bermotor karena diameter partikel yang besar. Hal ini terbukti juga pada penelitian ini karena nitrogen adalah penyusun amonium yang berfungsi juga sebagai pengikat CO_x dan SO_x pada gas buang kendaraan bermotor.

KESIMPULAN

Kondisi pembangkitan plasma di dalam sistem reaktor yang terisi gas buang kendaraan bermesin diesel 2500 cc berada pada rentang arus antara 50,0 – 90,0 μA. Efisiensi dekomposisi SO₂ yang terbaik yaitu sebesar 56,82%, pada kondisi korona negatif dengan arus sebesar 80 μA dan putaran distributor sebesar 1000 rpm. Pada putaran distributor 1500 rpm efisiensi dekomposisi SO₂ menjadi turun sebesar 26,14%. Hal ini dikarenakan pada putaran tersebut telah terjadi lucutan *arc*. Perlu dilakukannya penelitian pereduksian SO₂ dengan kondisi putaran distributor antara 300 – 1300 rpm, untuk mengetahui putaran distributor yang paling efektif dalam pereduksian SO₂. Perlu dilanjutkannya penelitian pereduksian SO₂ dengan pembuatan reaktor yang dapat dipasang pada sistem pembuangan kendaraan bermotor dan menggunakan sistem pengapian CDI (*Capasitor Discharge Ignition*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang, J.S., 1991, *Corona Discharge Processes*, IEEE Transaction on Plasma Science Vol. 19, pp 1152-1166
- [2] Chen, J., and Davidson, J.H., 2002, *Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona : Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions*, Plasma

- Chemistry and Plasma Processing, Vol. 22, pp 199-224
- [3] Czech, T., Mizeraczyk, J., Jaworek, A., Krupa, A., Karpinski, L., and Jakubowski, J., 1995, *Pulsed and DC Streamer Corona Induced Plasmas for NO_x Removal From Exhaust Gases*, 2nd National Symposium PLASMA, Warsaw, pp 205-208
- [4] Orlandini, O., and Riadel, U., 2000, *Chemical Kinetics of NO Removal by Pulsed Corona Discharges*, Journal Phys. D: Appl. Phys., Vol 33, pp 2467-2474
- [5] Nur, M., dkk., 2003, *Pereduksian Dengan Menggunakan Plasma Non-Termik*, Temu Ilmiah HFI Jateng 2003
- [6] Tseng, C.H., 1999, *The application of Pulsed Corona Discharge Technology in Flue Gas Desulfurization and Denitrification*, The Air & Wasre Management association's 92nd Annual Meeting & Exhibition, St. Louis, Missouri, USA, <http://.chaoheng.iip.com/Awma99Poster.pdf>
- [7] Fessenden, J.R., and Fessenden S. J., 1986, *Organic Chemistry*, Third Edition, Wadsworth, Inc., Berlmont, California 94002. Massacuset, USA.