

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH DEBIT AIR DAN ARAH
SEMPROTAN AIR PADA WET SCRUBBER TERHADAP KANDUNGAN
TAR PADA *DOWNDRAFT GASIFIER***

Tesis

Untuk memenuhi persyaratan
mencapai derajat sarjana strata 2



Oleh:

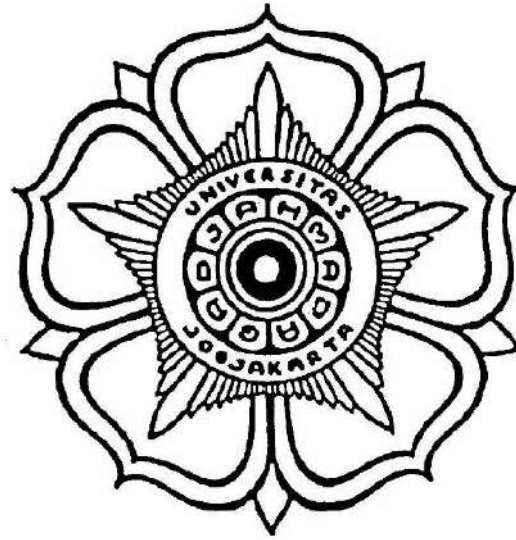
Achmad Aziizudin

19/452083/PTK/13111

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA**

2022

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF WATER FLOW
RATE AND WATER SPRAY DIRECTION ON WET SCRUBBER ON TAR
CONTENT IN DOWNDRAFT GASIFIER**



**Achmad Aziizudin
19/452083/PTK/13111**

**MASTER OF MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL AND INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2022

TESIS

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH DEBIT AIR DAN ARAH SEMPROTAN AIR PADA WET SCRUBBER
TERHADAP KANDUNGAN TAR PADA *DOWNDRAFT GASIFIER***

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF WATER FLOW RATE AND WATER SPRAY DIRECTION ON
WET SCRUBBER ON TAR CONTENT IN *DOWNDRAFT GASIFIER***

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Achmad Aziizudin
19/452083/PTK/13111

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal Senin, 20 Juni 2022**

Susunan Dosen Penguji

Ketua

Ir. Fauzan, S.T., M.T., Ph.D., IPM.

Anggota

Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM.

Anggota

Dr. Eng. Ir. Jayan Sentanuhady, S.T., M.Eng.

Anggota

Prof. Dr. Ir. Harwin Saptoadi, M.SE., IPM.

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Magister

Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin

Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D.

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri

Ir. Budi Hartono, S.T., M.Pm., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Achmad Aziizudin
NIM : 19/452083/PTK/13111
Tahun Terdaftar : 2019
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tugas Akhir ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu Lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain kecuali yang secara tertulis telah disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam Daftar Pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Tugas Akhir ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 20 Juni 2022


Achmad Aziizudin
19/452083/PTK/1311

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT, rasa syukur penulis ikrarkan atas rahmad dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul **“Studi Eksperimen Pengaruh Debit Air dan Arah Semprotan Air Pada Wet Scrubber Terhadap Kandungan Tar Pada *Downdraft Gasifier*”** dengan tepat waktu.

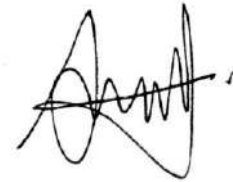
Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, penulisan skripsi ini tidak dapat berjalan dengan lancar, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ir. Budi Hartono, S.T., M.Pm., Ph.D., IPM, ASEAN Eng, sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gajah Mada.
2. Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM, sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.
3. Prof. Dr. Eng. Deendarlianto, S.T., M.Eng, sebagai Dosen Pembimbing Akademik saya yang telah membimbing dan mengarahkan saya selama kegiatan studi di Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.
4. Prof. Dr. Ir. Harwin Saptoadi, MSE., IPM, sebagai Dosen Pembimbing Tesis saya yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi selama penelitian, publikasi, maupun penulisan Tesis.
5. Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng, Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng, dan Dr. Ir. Jayan Sentanuhady, S.T., M.Eng., IPU ASEAN Eng, atas komentar dan saran masukan perbaikan saat uji kelayakan Tesis dan ujian tertutup.
6. Kedua orang tua penulis, yang selalu mendoakan dan memberi dukungan baik moral maupun materi.
7. Bapak/Ibu Dosen dan Karyawan Program Studi Magister Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

8. Rekan-rekan mahasiswa Magister Teknik Mesin angkatan 2019 genap, selaku teman seperjuangan dalam penyusunan tesis ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu per satu yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharap kritik serta saran. Semoga laporan tesis ini dapat berguna bagi pembaca maupun kita semua. Amiin.

Yogyakarta, 20 Juni 2022

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'A' followed by several smaller, connected loops and a final vertical stroke.

Achmad Aziizudin

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
SIMBOL DAN NOMENKLATUR	xi
ABSTRACT	xiii
INTISARI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gasifikasi Biomassa	5
2.2 Model <i>Gasifier</i>	5
2.3 Penelitian Penelitian Terdahulu Mengenai Gasifikasi Biomassa	6
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Biomassa	11
3.2 Sekam Padi	11
3.3 Gasifikasi	12
3.4 Faktor yang Mempengaruhi Produk Gasifikasi	22
3.5 Tar	25
3.6 <i>Wet Scrubber</i>	27
3.7 Analisis Perhitungan	28

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian	33
4.2 Variabel Penelitian	33
4.3 Alat dan Bahan Penelitian	33
4.4 Prosedur Penelitian.....	35
4.5 Analisa Produk	38
4.6 Diagram Alur Penelitian	39

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Proksimat, Ultimat, dan Nilai Kalor	40
5.2 Analisis Distribusi Temperatur	40
5.3 Temperatur <i>Producer Gas</i> saat masuk dan keluarh <i>wet scrubber</i>	48
5.3 Kontinuitas Nyala <i>Producer Gas</i>	51
5.4 Analisis <i>Fuel Consumption Rate</i> (FCR)	52
5.5 Analisis Kandungan Tar.....	56
5.6 Analisis HHV dan CGE	58

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	62
6.2 Saran.....	63

DAFTAR PUSTAKA	64
-----------------------------	----

LAMPIRAN	66
-----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sekam Padi	12
Gambar 3.2 <i>Updraft Gasifier</i>	18
Gambar 3.3 <i>Downdraft Gasifier</i>	19
Gambar 3.4 <i>Crossdraft Gasifier</i>	19
Gambar 3.5 <i>Entrained Flow Gasifier</i>	20
Gambar 3.6 <i>Circulating Fluidized Bed</i>	21
Gambar 3.7 <i>Fluidized Bed Gasifier</i>	22
Gambar 3.8 Metode Penghilang Tar	27
Gambar 3.9 <i>Equivalence ratio</i> yang ideal untuk gasifikasi	29
Gambar 3.10 <i>Impinger Bottle Method</i>	30
Gambar 4.1 Skema Penelitian	34
Gambar 4.2 Skema <i>Wet Scrubber</i>	35
Gambar 4.3 Alat Untuk Analisis Proximat, Ultimat, Nilai Kalor	35
Gambar 4.4 Skema Analisis <i>Impinger Bottle</i>	38
Gambar 4.5 Diagram Alur Penelitian	39
Gambar 5.1 Grafik Distribusi Temperatur Gasifikasi Tanpa <i>Wet Scrubber</i>	41
Gambar 5.2 Grafik Distribusi Temperatur Gasifikasi WSK	42
Gambar 5.3 Grafik Distribusi Temperatur Gasifikasi WSH	44
Gambar 5.4 Grafik Distribusi Temperatur Gasifikasi WSV	45
Gambar 5.5 Grafik Temperatur Sebelum dan Sesudah WSH	48
Gambar 5.6 Grafik Temperatur Sebelum dan Sesudah WSV	49
Gambar 5.7 Grafik Temperatur Sebelum dan Sesudah WSH	50
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Penurunan Temperatur	51
Gambar 5.9 Grafik Kontinuitas Nyala <i>Producer Gas</i>	52
Gambar 5.10 Grafik <i>Fuel Consumption Rate</i>	54
Gambar 5.11 Peristiwa <i>Chanelling</i> dan <i>Brigding</i>	55
Gambar 5.12 Grafik perbandingan kandungan tar dengan peneliti terdahulu	57
Gambar 5.13 Grafik HHV Gasifikasi Dengan Penambahan <i>Wet Scurbber</i>	59

Gambar 5.14 Grafik perbandingan nilai HHV_g dengan penelitian terdahulu.....	60
Gambar 5.15 Grafik CGE Gasifikasi Dengan Penambahan <i>Wet Scrubber</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Author, Konfigurasi, dan Hasil Penelitian Terdahulu.....	8
Tabel 3.1 Batas Kandungan Tar.....	26
Tabel 3.2 Persentase Gas Mampu Bakar.....	31
Tabel 4.1 Setup Pengujian Karakteristik <i>Gasifier</i>	37
Tabel 4.2 Jadwal Penelitian.....	39
Tabel 5.1 Hasil Uji <i>Proximate</i> , <i>Ultimate</i> , dan Nilai Kalor.....	40
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan <i>Fuel Consumption Rate</i>	53
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Tar	56

SIMBOL DAN NOMENKLATUR

$^{\circ}\text{C}$: Celcius
CH_4	: <i>Methane</i>
CO	: <i>Carbon Monoxide</i>
CO_2	: <i>Carbon Dioxide</i>
H_2	: <i>Hydrogen</i>
\emptyset	: <i>Equivalent ratio</i>
E_g	: Energi <i>producer gas</i> per kilogram (MJ)
m	: Massa (kg)
m_{tar}	: Massa tar (gram)
m_g	: Massa <i>producer gas</i> (kg)
N_2	: <i>Nitrogen</i>
ρ_{α}	: Massa jenis udara (kg/m^3)
ρ_f	: Massa jenis <i>feedstock</i> (kg/m^3)
ρ_g	: Massa jenis <i>producer gas</i> (kg/Nm^3)
Q_g	: Debit aliran <i>producer gas</i> menuju <i>impinger bottle</i> (lpm)
t	: Waktu gasifikasi (menit)
μ	: Mikro
μm	: Mikrometer
v	: Volume (m^3)
AW	: <i>Atomic Weight</i>
CGE	: <i>Cold Gas Efficiency</i> (%)
D	: Diameter <i>gasifier</i> (mm)
FCR	: <i>Fuel Consumption Rate</i> (kg/J)
HHV	: <i>Higher Heating Value</i> (Mj/Nm^3)
HHV_g	: <i>Higher Heating Value Gas</i> (Mj/Nm^3)
HHV_f	: <i>Higher Heating Value Feedstock</i> (Mj/kg)

- lpm : liter per menit
MW : *Molecular Weight* (kg/mol)
TWS : *Tanpa Wet Scrubber*
WSH : *Wet Scrubber Horizontal*
WSK : *Wet Scrubber Kombinasi*
WSV : *Wet Scrubber Vertikal*

ABSTRACT

Biomass is a renewable energy that utilizes natural waste that undergoes further processing to become a good fuel. These processes are incineration, pyrolysis, and gasification. The gasification process itself uses a gasifier, and there are several types of gasifiers such as fixed bed, and fluidized bed.

This research itself uses a fixed bed gasifier with the downdraft method. The use of rice husks as feedstock because of its availability in Indonesia is very much. A gasification system that uses a scrubber will produce a lower tar content and a cleaner gas without having to use a high outlet temperature. The choice of absorbent media in the scrubber greatly affects the tar content produced, in this study the absorbent medium used was water. However, the difference in the amount of water used can affect the characteristics and performance of the gasifier.

The purpose of this study was to (1) determine, analyze, and understand the effect of adding a wet scrubber to the characteristics and performance of the downdraft model gasifier with rice husk feedstock. (2) knowing, analyzing, and understanding the effect of variations in water discharge as an absorbent medium in a wet scrubber on the gasification characteristics and performance of the downdraft model gasifier with rice husk feedstock.

From this research, the result is that the addition of a wet scrubber has an effect on the amount of tar content, with the presence of a wet scrubber the tar content of the producer gas is less than gasification without a wet scrubber. The lowest tar content results were obtained in the WSK 1.5 variant of 1.20 g/Nm^3 , and from this study it can be concluded that the greater the water discharge entering the wet scrubber, the less tar content produced. The highest HHV_g value was obtained in the WSH 2.5 variant, which was 3.49 MJ/Nm^3 . The size of the HHV_g value is influenced by the percentage of the resulting combustible gas content. Then for the highest CGE, the WSH 2.5 variant is 90,8%, this is influenced by the size of the gas yield value.

Keywords : downdraft; compatibility; gasifier; rice husk; wet scrubber

INTISARI

Biomassa merupakan salah satu energi terbarukan yang memanfaatkan limbah alam yang mengalami proses lebih lanjut agar menjadi bahan bakar yang baik. Proses tersebut seperti insinerasi, pirolisis, dan gasifikasi. Proses gasifikasi sendiri menggunakan *gasifier*, dan ada beberapa jenis *gasifier* seperti *fixed bed*, dan *fluidized bed*.

Penelitian ini sendiri menggunakan jenis *gasifier fixed bed* dengan metode *downdraft*. Penggunaan sekam padi sebagai *feedstock* karena ketersediaannya di Indonesia sangatlah banyak. Sistem gasifikasi yang menggunakan *scrubber* akan menghasilkan kandungan tar yang lebih sedikit dan gas yang lebih bersih tanpa harus menggunakan temperatur *outlet* yang tinggi. Pemilihan media absorben pada *scrubber* sangat berpengaruh terhadap kandungan tar yang dihasilkan, pada penelitian ini media absorben yang digunakan adalah air. Akan tetapi perbedaan besaran debit air yang digunakan dapat mempengaruhi karakteristik dan kinerja *gasifier*.

Tujuan dari penelitian ini untuk (1) mengetahui, menganalisis, dan memahami pengaruh penambahan *wet scrubber* terhadap karakteristik dan kinerja *gasifier* model *downdraft* dengan *feedstock* sekam padi. (2) mengetahui, menganalisis, dan memahami pengaruh variasi debit air sebagai media absorben pada *wet scrubber* terhadap karakteristik gasifikasi dan kinerja *gasifier* model *downdraft* dengan *feedstock* sekam padi.

Dari penelitian ini diperoleh hasil yaitu penambahan *wet scrubber* berpengaruh terhadap jumlah kandungan tar. Dengan adanya *wet scrubber* kandungan tar pada *producer gas* lebih sedikit jika dibandingkan dengan gasifikasi tanpa *wet scrubber*. Hasil kandungan tar terendah diperoleh pada varian WSK 1,5 sebesar 1,20 g/Nm³, dan dari penelitian ini dapat disimpulkan semakin besar debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber* maka kandungan tar yang dihasilkan semakin sedikit. Nilai HHV_g tertinggi diperoleh pada varian WSH 2,5 yaitu sebesar 3,49 MJ/Nm³. Besar kecilnya nilai HHV_g dipengaruhi oleh persentase kandungan gas mampu bakar yang dihasilkan. Kemudian untuk CGE yang tertinggi terdapat pada varian WSH 2,5 sebesar 90,8%, hal ini dipengaruhi besar kecilnya nilai *gas yield*.

Kata kunci : *downdraft*; *gasifier*; kompatibilitas; sekam padi; *wet scrubber*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi selalu dibutuhkan oleh makhluk hidup, dan manusia merupakan salah satu makhluk hidup yang membutuhkan energi paling banyak. Energi menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia untuk melakukan aktivitas yang menunjang kehidupan sehari-hari, seperti transportasi, penerangan, dan memasak. Setiap tahunnya populasi manusia terus bertambah, sehingga menyebabkan jumlah energi yang dibutuhkan bertambah.

Sumber energi yang paling banyak digunakan saat ini adalah energi fosil. Energi fosil dapat dikatakan sebagai salah satu energi yang tidak ramah lingkungan, dikarenakan hasil pembakaran energi fosil yang mengandung gas berbahaya seperti Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), dan lain sebagainya. Untuk itu para peneliti terus melakukan pengembangan terhadap energi. Salah satunya melakukan penelitian tentang energi terbarukan yang ramah lingkungan (*renewable energy*). Energi terbarukan merupakan energi yang ramah lingkungan, dan tidak memberikan dampak negatif terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, hal ini dikarenakan energi terbarukan yang dibentuk dari proses alam yang berkelanjutan, salah satunya biomassa.

Pada tahun 2015 di Indonesia, dari 32.654 MW potensi bioenergi yang ada, baru 1.671 MW bioenergi atau sekitar 5,1% dari total potensi bioenergi yang dimanfaatkan (Perpres Nomor 22 Tahun 2017). Biomassa sendiri dapat berbentuk padat, cair, dan gas. Biomassa merupakan salah satu energi terbarukan yang memanfaatkan limbah alam yang mengalami proses lebih lanjut insinerasi, pirolisis, dan gasifikasi. Proses-proses tersebut dilakukan agar biomassa menjadi sumber energi yang lebih baik.

Gasifikasi adalah proses pemecahan senyawa karbon kompleks menjadi *producer gas* setelah dilakukan pembakaran bahan bakar dengan memberikan batasan kandungan oksigen pada *gasifier*, mengakibatkan gas yang dihasilkan tidak teroksidasi secara sempurna dan memiliki berbagai macam kandungan kimia. Gas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi disebut dengan *producer*

gas. Secara umum *producer gas* terdiri dari CO₂, CO, H₂O, H₂, dan CH₄. Selain menghasilkan *producer gas* gasifikasi juga menghasilkan produk residu yaitu tar dan *ash*. *Producer gas* yang dihasilkan dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar motor bakar gas, dan dapat juga diolah menjadi bahan bakar cair dengan proses *refinery*.

Proses gasifikasi sendiri menggunakan *gasifier*. Beberapa jenis *gasifier* yang sering digunakan seperti *fixed bed*, dan *fluidized bed*. Penelitian ini sendiri menggunakan jenis *gasifier fixed bed* dengan metode *downdraft*, penggunaan metode ini dikarenakan desainnya yang sederhana, dan tar yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan metode *updraft* (Susastriawan, dkk, 2018). Selain itu, metode *downdraft* dapat digunakan untuk gasifikasi skala kecil yaitu gasifikasi yang memiliki kapasitas input termal < 1. Akan tetapi metode *downdraft* memiliki beberapa kekurangan, di antaranya nilai kalor yang dihasilkan rendah, dan jenis *feedstock* yang digunakan akan mempengaruhi nilai efisiensi dari *gasifier* tersebut. *Feedstock* merupakan bahan bakar yang digunakan dalam proses gasifikasi pada *gasifier fixed bed* atau yang dikenal dengan bahan bakar biomassa, seperti serbuk kayu, sekam padi, dan batok kelapa.

Feedstock yang digunakan adalah sekam padi, hal ini dikarenakan sekam padi mudah didapatkan, mengingat Indonesia merupakan negara penghasil padi terbesar ketiga di-dunia dengan luas panen padi sebesar 10,66 juta hektar dengan produksi sebesar 54,65 juta ton gabah kering giling (GKG). Jika dikonversikan menjadi beras, produksi beras pada tahun 2020 mencapai 31,33 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2021). *Proximate analysis* sekam padi meliputi *volatile* 61,78%, *fixed carbon* 8,04%, *ash* 30,18%, dan *moisture* 4,55% (Ma, 2015).

Pada proses gasifikasi tar yang dihasilkan dapat dikurangi dengan mengkondensasikan tar sebelum dilakukan pemisahan. Pengurangan kandungan tar dilakukan dengan cara menambahkan *cyclones*, *barrier filters*, *wet electrostatic*, *precipitator*, atau *wet scrubber*. Sistem gasifikasi yang menggunakan *wet scrubber* akan menghasilkan kandungan tar yang lebih

sedikit dan gas yang lebih bersih tanpa harus menggunakan temperatur *outlet* yang tinggi. Dengan menggunakan *wet scrubber*, > 90% pengumpulan tar lebih efisien, tetapi nilai efisien tersebut akan turun jika partikel tar berukuran < 1 mikron (Basu, 2010)

Banyak penelitian-penelitian yang dilakukan pada *gasifier* jenis *downdraft* dengan penambahan *wet scrubber* dengan media absorben seperti air, limbah oli, minyak sayur, dan lain-lain. Tetapi sejauh ini belum ada penelitian tentang pengaruh debit pada media absorben air terhadap karakteristik *gasifier downdraft*. Untuk sebab itu, peneliti ingin melakukan penelitian lebih lanjut tentang penambahan *wet scrubber* dengan media absorben air pada *gasifier downdraft* dengan memvariasikan besaran debit air yang diberikan, mengingat besaran debit air yang masuk ke *wet scrubber* akan mempengaruhi kandungan tar yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *wet scrubber* terhadap karakteristik *producer gas* ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *wet scrubber* terhadap kandungan tar yang dihasilkan ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga masalah yang diambil dalam penelitian ini supaya tidak melebar dari rumusan masalah dan tepat sasaran, maka diperlukan batasan masalah. Berikut ini batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini.

1. *Gasifier* gasifikasi yang digunakan adalah *gasifier* dengan kapasitas <100 kWh.
2. Fluida gasifikasi yang digunakan adalah udara yang disuplai melalui *tuyer* di dinding *gasifier* menggunakan blower.
3. *Feedstock* yang digunakan adalah sekam padi yang didapat dari penggilingan padi, dan tidak spesifik pada jenis padi tertentu.

4. Nilai kalor *producer gas* didapatkan dari perhitungan CO, H₂, dan CH₄ yang terdapat di dalam *producer gas* bukan dari pengukuran menggunakan *bomb calorimeter*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *wet scrubber* terhadap karakteristik *producer gas* yang dievaluasi, dinilai dari nilai kalor *producer gas* dan *cold gas efficiency*.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *wet scrubber* terhadap kandungan tar yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Teknologi *downdraft* dengan penambahan *wet scrubber* diharapkan dapat meningkatkan penggunaan bahan bakar biomassa yang ramah lingkungan, dengan produksi tar rendah. Karakteristik pembakaran yang diperoleh dapat digunakan sebagai panduan pengoperasian *downdraft*. Karakteristik yang didapat juga dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya untuk pengembangan teknologi yang lebih baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi biomassa merupakan suatu proses termokimia yang dapat merubah bahan bakar padat dalam bentuk biomassa menjadi bahan bakar gas. Proses tersebut terjadi di dalam *gasifier* yang disebut *gasifier*. Ada empat tahapan dalam proses gasifikasi, yaitu pengeringan (*drying*), pirolisis (*pyrolysis*), pembakaran (*oxidation*), dan reduksi (*reduction*) (Basu, 2010).

Produser gas yang dihasilkan mengandung gas mampu bakar yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metana (CH₄), dan gas tidak mampu bakar terdiri dari karbondioksida (CO₂), dan nitrogen (N₂). Pembakaran produser gas yang lebih bersih jika dibandingkan dengan pembakaran biomassa langsung mendapatkan perhatian sebagai proses konversi energi alternatif yang ramah lingkungan (Hernandez, dkk., 2010).

2.2 Model *Gasifier*

Gasifier terbagi menjadi tiga, yaitu *fixed bed gasifier*, *fluidized bed gasifier*, dan *entrained flow gasifier* (Basu, 2010).

2.2.1 *Gasifier model fixed-bed*

Feedstock biomassa dimasukkan ke dalam *gasifier* melalui *hopper* di bagian atas *gasifier* dan ditahan oleh *grate*. Umumnya *gasifier* dibuat berbentuk silinder dan dilapisi dengan insulator. *Feedstock* bergerak ke bawah selama proses gasifikasi sehingga *gasifier* jenis ini sering pula disebut dengan *moving bed gasifier*. Sisa gasifikasi berupa abu dikeluarkan melalui bagian bawah dari *gasifier*. Menurut aliran *feedstock* dan *producer gas* di dalam *gasifier*, *fixed bed gasifier* dapat dibedakan menjadi *updraft*, *downdraft* dan *crossdraft* (Basu, 2010 ; Susastriawan, 2018).

2.2.2 *Gasifier model fluidized bed*

Gasifier ini menggunakan konsep *fluidization*. *Fluidization* adalah suatu konsep yang membuat partikel solid seolah-olah seperti fluida. Medium *fluidization* yang digunakan umumnya adalah udara panas, namun ada juga yang memanfaatkan uap air. Proses gasifikasi terjadi ketika terjadi kontak antara fluida panas dengan biomassa di dalam *gasifier*. Temperatur di dalam *gasifier* berkisar antara 800-900°C. *Fluidized bed gasifier* dapat dibedakan menjadi *Bubbling Fluidized Bed* dan *Circulating Fluidized Bed*.

2.2.3 *Gasifier model entrained flow*

Ukuran partikel *feedstock* yang dapat digunakan pada *gasifier* ini sangat halus ($< 100 \mu\text{m}$) dan beroperasi pada kisaran temperatur 1300-1500°C dan tekanan *gasifier* berkisar antara 20-50 bar. Type *entrained gasifier* lebih sesuai untuk kapasitas besar dengan *feedstock* batubara dan tidak sesuai untuk *feedstock* dengan kadar air cukup tinggi seperti biomassa (Basu, 2010). *Residence time* dari *feedstock* yang sangat singkat juga menjadikan faktor bahwa *entrained flow gasifier* tidak sesuai untuk biomassa.

2.3 Penelitian-Penelitian Terdahulu Mengenai Gasifikasi Biomassa

Beberapa rancangan *gasifier* model *downdraft* dari peneliti terdahulu dan hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa masing-masing *gasifier* memiliki rancangan yang berbeda, diujikan dengan biomassa yang berbeda, dan parameter pengujian yang berbeda. Hal ini mengakibatkan adanya kesulitan untuk mendapatkan rancangan *gasifier* model *downdraft* yang kompatibel untuk sekam padi, sehingga dari studi pustaka ini didapatkan bahwa:

Tabel 2.1 Author, Konfigurasi, dan Hasil Penelitian Terdahulu

Author	Konfigurasi	Hasil
Iminafik, 2016	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier downdraft</i> - <i>Feedstock sekam padi</i> - Variasi besaran <i>air fuel ratio</i> 1,08, 1,35, 1,62, dan 1,90 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Producer gas</i> terbaik dengan nyala api warna biru terjadi saat suplai udara sebesar 1 m/s - Temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 675°C - Semakin jauh nilai <i>air fuel ratio</i> dari optimal, maka kualitas <i>producer gas</i> akan menurun
Susastriawan, 2018	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier downdraft</i> - <i>Feedstock sekam padi</i>, dan serbuk kayu - Variasi <i>feedstock</i> sekam padi, serbuk kayu, dan campuran keduanya 	<ul style="list-style-type: none"> - HHV_f 13,13 MJ/kg - Kandungan tar yang dihasilkan 5,8-53,3 g/Nm³ - Cold Gas Efficiency yang dihasilkan sekam padi 78,39%, 66,36%, dan 76,29%. - HHV_g yang dihasilkan sebesar 3,34 MJ/Nm³
Ma, 2015	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier downdraft</i> - <i>Feedstock sekam padi</i> - Parameter: pengaruh <i>equivalence ratio</i> terhadap temperatur <i>gasifier</i>, komposisi <i>producer gas</i>, dan kandungan tar 	<ul style="list-style-type: none"> - HHV_f 12,85 MJ/kg - <i>Equivalence ratio</i> optimum 0,211. - LHV_g pada <i>equivalence ratio</i> optimum 4,44 MJ/Nm³ - Tar minimum 1,34 g/Nm³ - Cold gas efficiency 50,85%
Yoon, 2012	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier downdraft</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Proksimat (%): 60 VM, 3,6 MC, 16,3 Ash

	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Feedstock</i> sekam padi dan pellet sekam padi - Parameter : laju konsumsi biomassa 40-45 kg/h (sekam padi) dan 50-60 kg/h (pellet sekam padi), laju udara gasifikasi sekam padi 60-75 Nm³ /h dan gasifikasi pellet sekam padi 50-60 Nm³/h. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ultimat (%): 38,5 C, 5,5 H, 36,6 O, 0,4 N, dan 0,2 S - HHV_f 16,58 MJ/kg - Persentase komposisi <i>producer gas</i> (H₂, CO, CO₂, dan CH₄), sekam padi: 13,6, 14,9, 12,9, dan 2,3% ; pellet sekam padi: 18,6, 20,2, 8,1, dan 1,5% - HHV_g sekam padi 4,54 MJ/Nm³, dan pellet sekam padi 5,50 MJ/Nm³ - <i>Cold gas efficiency</i> 50-70%
Monir, 2018	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier</i> model <i>downdraft</i> - <i>Feedstock</i> yang digunakan tempurung kelapa dan arang - <i>Air Flow Rate</i> yang digunakan 60 m³/h 	<ul style="list-style-type: none"> - Komponen utama <i>producer producer gas</i> (H₂ dan CO) meningkat dengan bertambahnya rasio arang dan tempurung kelapa. Akan tetapi kandungan CH₄ tidak berpengaruh terhadap rasio arang dan tempurung kelapa
Zubair, 2019	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier</i> model <i>downdraft</i> - <i>Feedstock</i> yang digunakan tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit - Variasi ukuran biomassa 1-3mm, 4-7mm, dan 8-11mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Dalam laju gasifikasi, temperatur <i>gasifier</i> memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan ukuran partikel

	<ul style="list-style-type: none"> - Variasi temperatur 700, 800, dan 900°C 	
Zubair, 2020	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier</i> model <i>downdraft</i> - <i>Feedstock</i> yang digunakan tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit - Variasi temperatur 700, 800, dan 900°C - Bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap kandungan tar 	<ul style="list-style-type: none"> - Kandungan tar turun dan nilai kalor naik saat terjadi kenaikan suhu - Pengujian menggunakan <i>spektroskopi ultraviolet</i>, kandungan aromatik tar meningkat dengan peningkatan suhu, dan tar yang dihasilkan tempurung kelapa menunjukkan intensitas fluoresensi yang lebih tinggi dari pada tar yang dihasilkan cangkang kelapa sawit pada temperatur 800°C
Lotfi, 2019	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier</i> model <i>fixed bed</i> dengan penambahan <i>wet scrubber</i> - Media absorben <i>oil</i> - Variasi yang diberikan pada penelitian ini berupa <i>oil/gas ratio</i> (4,7 dan 7), <i>oil temperatur</i> (ambient, ~23°C dan 50°C) dan ukuran serpihan kayu (kasar = ~0,02 - 0,045m, 0,003 – 0,03m dan 0,002 – 0,007m dan halus = (0,015 – 0,04 m) × (0,002 – 0,005 m) × (0,001 – 0,003 	<ul style="list-style-type: none"> - Perbandingan rasio <i>oil</i> dan gas memberikan hasil yang signifikan untuk mengurangi kandungan tar, dan efek temperatur <i>oil</i> terhadap pengurangan kandungan tar relatif kecil.

	m)).	
Nakamura, 2016	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gasifier</i> model <i>up draft gasifier</i> dengan penambahan wet scrubber - Media absorben <i>bio-oil</i> dan char - Perbandingan absorben 100 L <i>bio-oil</i> dan 13kg char - Variasi temperatur 40, 50, dan 60°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil penelitian paling baik ditunjukkan pada sampel 50°C dengan pengurangan tar sebesar 64,5%. Sistem pengurangan tar seperti ini tidak mengalami penurunan kinerja setelah digunakan selama 22,5 jam
Phuphuakrat, 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Feedstock yang digunakan adalah serbuk kayu pohon sugi - Penghilangan tar dengan wet scrubber - Media absorben air dan minyak - Variasi minyak <i>diesel fuel</i>, <i>biodiesek fuel</i>, <i>vegetable oil</i>, dan <i>engine oil</i> - Pengujian tar menggunakan <i>gravimetric</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi <i>scrubber</i> dengan media air sebesar 31,8%, sementara dengan <i>vegetable oil</i> 60,4%

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Biomassa

Biomassa terbentuk dari makhluk hidup meliputi tumbuhan dan hewan, tidak terkecuali makhluk hidup yang telah mati dalam jangka waktu singkat. Setiap tahun, tumbuhan berkembang dalam skala besar melalui proses fotosintesis dengan menyerap CO₂ di atmosfer. Ketika dibakar, tumbuhan akan melepaskan CO₂ yang telah diserap selama tumbuhan tersebut hidup. Setiap pembakaran biomassa tidak menambah kadar karbon dioksida ke bumi. Hal ini menjadi alasan kenapa biomassa dapat disebut sebagai bahan bakar dengan kandungan karbon netral (Basu, 2010).

Biomassa dapat dikonversi menjadi sumber energi lain dengan cara diberikan beberapa proses, seperti *biochemical* dan *thermochemical*. *Biochemical* merupakan proses konversi biomassa dengan memanfaatkan bakteri dan enzim melalui *digestion*, fermentasi, dan *enzymatic*. Secara umum proses konversi biomassa ini merupakan proses perubahan molekul biomassa menjadi molekul yang lebih kecil dengan hasil berupa metana, etanol dan karbon dioksida. *Thermochemical* merupakan proses konversi biomassa dengan melibatkan energi panas. Hasil dari konversi biomassa *thermochemical* berupa *gas*, padat, dan cair. Proses yang harus dilewati dalam konversi ini adalah pembakaran, *pyrolysis*, *liquefaction*, dan gasifikasi. Jika dibandingkan dengan *biochemical*, *thermochemical* dapat mengkonversi biomassa lebih cepat, hanya dengan hitungan menit. Tujuan konversi biomassa adalah untuk menghasilkan sumber energi yang mudah didistribusikan. Salah satu biomassa yang dapat dikonversi dengan *thermochemical* adalah sekam padi.

3.2 Sekam Padi

Sekam padi adalah lapisan paling luar dari padi, memiliki tekstur keras meliputi *kariopsis* dan terbagi menjadi dua belahan yang saling bertautan yang disebut *lemma* dan *palea*. Saat penggilingan, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan.

Sekam padi dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Proses penggilingan padi menghasilkan sekam 20-30%, dedak 8- 12% dan beras 50-63,5% dari bobot awal gabah. Hal ini dibuktikan dengan penelitian Haryadi (2006), dari proses penggilingan biji padi akan diperoleh 25% sekam, 8% dedak, 2% bekatul, dan 65% beras. Dan sekam sendiri terdiri dari 33% selulosa, 26% hemiselulosa, dan 7% lignin (Jackson, 1977).



Gambar 3.1 Sekam padi (Ismunadji, 1998)

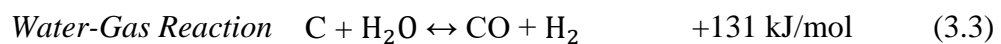
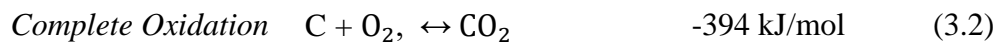
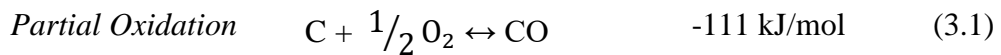
Selain itu juga, menurut Ismunadji (1998) kandungan pada sekam padi terdiri dari air 11,35-32,40%, protein kasar 1,70-7,26%, lemak 0,38-2,98%, ekstrak nitrogen bebas 24,70-38,79%, serat 31,37-49,92%, abu 13,16-29,04%, *pentose* 16,94-21,95%, *sellulosa* 34,34-43,80%, dan *lignin* 21,40-46,97%.

3.3 Gasifikasi

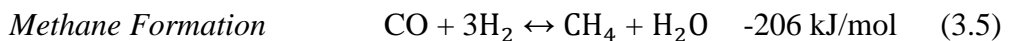
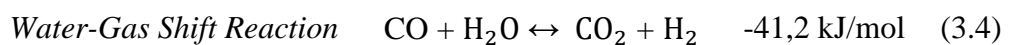
Gasifikasi merupakan metode konversi biomassa yang melalui proses *thermochemical* bertujuan untuk menghasilkan senyawa gas maupun berbagai senyawa kimia yang bermanfaat. Gas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi secara umum terdiri dari CO, CO₂, N₂, O₂, H₂, dan CH₄. Gasifikasi dengan biomassa padat ini terjadi saat biomassa terisolasi dari udara sekitar (oksigen terbatas), berada pada tekanan yang mendekati tekanan *ambient*. Gas produk dari gasifikasi ini dinamakan *producer gas* atau *synthetic gas*. Proses gasifikasi bertujuan untuk meningkatkan *heating value* atau nilai kalor dengan cara menghilangkan komponen yang tidak terbakar seperti air dan nitrogen. Gasifikasi juga dapat menghilangkan kadar sulfur

dan nitrogen ke atmosfer seperti bahan bakar yang dihasilkan dari proses gasifikasi dibakar.

Menurut Basu (2010) reaksi yang terjadi di dalam *gasifier* dapat dirangkum sebagai berikut:



Reaksi kalor dalam tiga proses tersebut menunjukkan bahwa energi terbesar yang dilepaskan berasal dari oksidasi sempurna dari karbon ke karbon dioksida yaitu pembakaran, sementara oksidasi parsial dari karbon ke karbon monoksida menerangkan hanya sekitar 65% dari pelepasan energi selama proses oksidasi sempurna. Tidak seperti pembakaran yang memproduksi hanya gas panas, karbon monoksida, hidrogen dan uap, tapi dapat mengalami reaksi lebih lanjut selama gasifikasi sebagai berikut :



Tanda panah mengindikasikan bahwa reaksi tersebut seimbang dan dapat dimulai dari tiap arah tergantung temperatur, tekanan dan konsentrasi jenis reaksi. Hal itu mengikuti fakta bahwa gas produk dari gasifikasi terdiri dari campuran karbon monoksida, karbon dioksida, metana, hidrogen dan uap air. Pada proses pembakaran 79% dari udara adalah nitrogen. Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen dan menghasilkan (NO_x), yang merupakan pencemar beracun. Selain itu karbon, hidrogen dan sulfur dalam bahan bakar juga dapat bercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida.

3.3.1 Proses Gasifikasi

Secara umum proses gasifikasi mengalami beberapa tahap sebagai berikut:

a. *Drying*/Pengeringan

Pengeringan adalah proses penguapan uap air yang terkandung dalam bahan bakar padat yang terjadi di dalam ruang bakar. Panas

dikonveksikan dan diradiasikan ke permukaan partikel sehingga untuk butiran halus terjadi penguapan air yang terkandung di dalamnya dan akan berlangsung dengan cepat sebelum kandungan volatil dilepas. Untuk butiran yang lebih besar aliran uap air keluar dan ke dalam secara bersamaan dengan intensitas yang berbeda, apabila pelepasan uap air maka transfer kalor dan massa ke permukaan partikel menurun sehingga terjadi penurunan laju reaksi

Pada bahan bakar padat dalam bentuk batangan, proses *drying*, *pyrolysis* dan *char burn* berlangsung secara bersamaan sampai sebagian besar massa telah dikonsumsi sehingga yang tersisa adalah arang (*char*).

b. *Pyrolysis*

Pyrolysis disebut juga *devolatilization* (penguapan unsur volatil) karena dengan semakin meningkatnya temperatur maka unsur volatil akan mengalir keluar, sehingga menghambat aliran oksigen dari luar untuk masuk ke dalam butiran bahan bakar. Laju *devolatilization* dan laju produksi produk *pyrolysis* tergantung pada temperatur dan jenis bahan bakar padat yang digunakan. Produk *pyrolysis* akan menyala dan membentuk api yang menempel dan memanasi butiran bahan bakar padat dan terjadilah proses *pyrolysis* lanjut.

c. *Char gasification reaction*

Char gasification reaction merupakan tahapan gasifikasi setelah *pyrolysis*, melibatkan reaksi kimia antara karbon di dalam bahan bakar dengan uap, karbon dioksida, oksigen, dan hidrogen di dalam *gasifier*. Dari jumlah tersebut, gasifikasi karbon adalah yang paling penting. Arang yang dihasilkan melalui *pyrolysis* biomassa belum tentu karbon murni, seperti mengandung sejumlah hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Arang biomassa umumnya lebih berpori dan reaktif dibandingkan kokas. Porositasnya berkisar antara 40 sampai 50% sedangkan arang batubara 2 sampai 18%. Reaksi yang berlangsung dalam tahap ini adalah:



d. Proses *char burnout*

Pada proses ini yang tersisa dari bahan bakar padat adalah arang dan abu. Karena tidak ada *volatile* dan porositas (kandungan pori-pori) arang maka oksigen bisa berdifusi sampai ke pori-pori sehingga terjadi reaksi karbon dan oksigen di permukaan yang menghasilkan CO dan laju difusi oksigen dilanjutkan ke lapis batas dan ke dalam partikel, sementara itu CO akan bereaksi di luar lapis batas dan menghasilkan CO₂. Reaksi utama yang berlangsung di permukaan:



Juga berlangsung reaksi,



3.3.2 Produk Gasifikasi Biomassa

Produksi akhir gasifikasi biomassa untuk fase padat dan gas akan sangat berbeda. Hal ini tergantung pada biomassa dan metode gasifikasi yang digunakan. Secara umum produk gasifikasi dikategorikan sebagai berikut:

a. Fase padat

Fase padat berupa abu yang terdiri dari kalsium, magnesium, potassium, dan fosfor. Bahan tersebut terdapat di dalam bahan baku dan tidak bereaksi dengan karbon. Karbon yang terkandung di dalam abu memiliki persentase yang sangat rendah dari total jumlah abu. Secara umum beratnya lebih rendah dari 1% perubahan matrik pada karbon di dalam gas menjadi objek pada keseluruhan proses.

b. *Producer gas*

Producer gas atau gas mampu bakar merupakan campuran hidrogen dan karbon monoksida. *Producer gas* digunakan sebagai pengganti

gas alam yang terbuat dari gas metana. *Producer gas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Nilai LHV bahan bakar dan LHV *producer gas* dapat ditentukan dari komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume *producer gas*. *Producer gas* dapat dibedakan menjadi 2 jenis sebagai berikut:

a) *Producer gas* tidak terkondensasi

Fase gas adalah campuran gas yang berisi gas yang tidak terkondensasi pada suhu ruangan, CO, H₂, CO₂, hidrokarbon ringan, CH₄ dan beberapa C₂-C₃. Jika udara digunakan dalam proses oksidasi pada gasifikasi, maka kandungan nitrogen (N₂) akan muncul pada fase gas tersebut. Komponen kecil seperti NH₃ dan gas asam anorganik (H₂S dan HCl) dan beberapa senyawa kecil gas juga muncul pada fase gas.

b) Fase terkondensasi (tar)

Tar terbentuk dari beberapa senyawa organik yang sangat kental, dapat dianggap sebagai minyak *bituminous*. Tar merupakan senyawa organik yang hadir dalam *producer gas* kecuali gas hidrokarbon dari C₁ sampai C₆ dan telah ditetapkan prosedur utama untuk analisis. Tar terdiri dari campuran kompleks pada hidrokarbon terkondensasi yang mana komposisinya tergantung pada bahan baku biomassa, teknologi gasifikasi digunakan, dan parameter operasi yang dipilih. Secara umum produksi tar digolongkan dalam empat kategori:

a. Tar primer

Tar primer dihasilkan selama primer pirolisis yang terdiri dari oksigen, organik primer, dan molekul terkondensasi. Tar primer berasal dari pemecahan komponen biomassa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Tar primer tersusun dari senyawa asam, gula, alkohol, *keton*, *aldehida*,

fenol, guaiakol, syringol, furan, dan oksigenat campuran dalam kelompok ini (Basu, 2010).

b. Tar sekunder

Saat suhu *gasifier* naik di atas 500 ° C, tar primer mulai tersusun kembali membentuk lebih banyak gas yang tidak dapat terkondensasi dan molekul yang lebih berat yang disebut tar sekunder, di mana *fenol* dan *olefin* merupakan unsur utama.

c. Produk Tar Tersier

Produk tersier merupakan senyawa *alkyl* termasuk turunan *metyl* aromatik, seperti *metyl acenaphthylene*, *methylnaphthalene*, *toluene*, dan *indene*.

d. Aromatik tersier terkondensasi membentuk rangkaian *polynuclear aromatik hidrokarbon* (PAH) tanpa substitusi atom maupun atom yang disubstitusi hidrogen dalam rantai induk hidrokarbon. Aromatik tersier terkondensasi terdiri dari *benzene*, *naphthalene*, *acenaphthylene* *anthracene*, *phenanthrene*, dan *pyrene*.

3.3.3 Jenis *Gasifier*

Berdasarkan cara kerja *gasifier* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis:

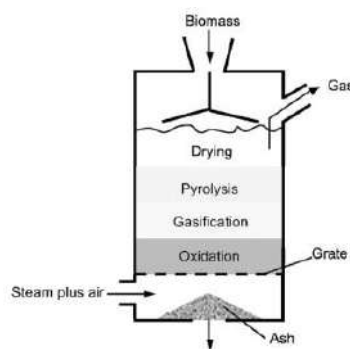
1. *Fixed Bed Gasifier*

Fixed bed gasifier biasanya berupa tungku vertikal dan tahapan proses dapat diidentifikasi. Berdasarkan aliran bahan baku yang diumpankan, *gasifier fixed bed* dapat dikelompokkan menjadi tiga:

a. *Updraft Gasifier*

Pada *updraft gasifier* biomassa dimasukkan melalui bagian atas dan udara dimasukkan dari bawah *gasifier*. Produk gas yang dihasilkan kemudian keluar dari bagian atas *gasifier*, sementara produk padat tertinggal di bawah. Temperatur paling tinggi terletak pada bagian bawah mendekati *grate*, saat oksigen bertemu dengan

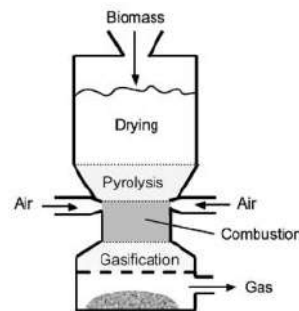
char dan terjadi pembakaran. Gas panas bergerak ke atas menyebabkan terjadinya reaksi gasifikasi endoterm, dan terjadi pirolisis biomassa temperatur rendah (200-500°C). Tar primer dihasilkan pada temperatur tersebut. Tar ini kemudian bergerak ke atas menuju daerah yang lebih rendah, maka dari itu tidak terjadi konfeksi tar menjadi gas dan pembentukan tar sekunder. Hal tersebut yang membuat *updraft gasifier* merupakan *gasifier* dengan produksi tar terbanyak dengan kisaran 10-20% dari massa umpan biomassa (Basu, 2010).



Gambar 3.2 *Updraft Gasifier* (Basu., 2010)

b. *Downdraft Gasifier*

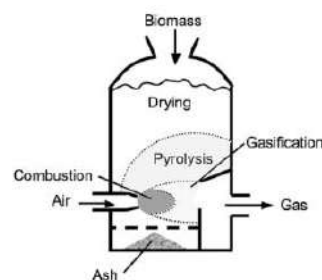
Pada *downdraft gasifier* baik bahan bakar maupun udara masuk melalui bagian atas *gasifier*. Temperatur tertinggi terdapat pada bagian bawah yaitu pada zona pembakaran. Tar dihasilkan pada temperatur rendah yaitu 200-500°C bergerak ke bawah Bersama dengan aliran oksigen. Keberadaan oksigen menyebabkan terjadinya reaksi pembakaran dan pada saat bersamaan tar ikut terbakar. Hal tersebut menyebabkan terjadinya laju peningkatan temperatur 1000-1400°C. Api terbentuk di antara partikel bahan bakar berkisar 500-700°C. Fenomena ini disebut *flaming pyrolysis*. Produk *pyrolysis* atau dalam hal ini tar mengalami kontak dengan oksigen ketika melewati zona temperatur tinggi dan berubah menjadi gas tak terkondensasi. Alasan inilah yang membuat *downdraft gasifier* dapat menghasilkan sedikit tar (<1 g/Nm³).



Gambar 3.3 *Downdraft Gasifier* (Basu., 2010)

c. *Crossdraft Gasifier*

Crossdraft gasifier merupakan jenis *gasifier moving bed* terbaru, dengan bahan bakar dimasukkan dari bagian atas *gasifier*. Udara dimasukkan melalui bagian samping menggunakan nozel, hal ini menyebabkan reaksi pembakaran karbon sehingga temperatur *gasifier* mampu mencapai 1500°C. *Gasifier* jenis ini umumnya menggunakan bahan bakar berukuran kecil dengan kandungan abu rendah. Keunggulan *gasifier* jenis ini mempunyai zona reaksi yang relatif kecil sehingga proses gasifikasi dapat terjadi secara singkat. Tar yang dihasilkan pada *gasifier* jenis ini relatif rendah sehingga tidak memerlukan sistem pembersihan gas yang rumit.

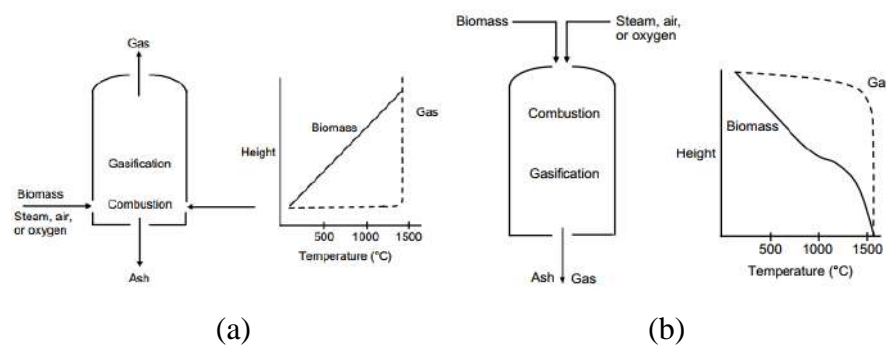


Gambar 3.4 *Crossdraft Gasifier* (Basu., 2010)

2. *Entrained-Flow Bed Gasifier*

Gasifier jenis ini menggunakan siklus gabungan sehingga menghasilkan produksi *producer gas* yang bersih dan sedikit tar. *Gasifier* tipe ini menggunakan temperatur cukup tinggi yaitu berkisar 1400°C dengan tekanan 20-70 bar. Bahan bakar yang digunakan memiliki ukuran paling kecil dibandingkan dengan jenis *gasifier* lain

yaitu <75 mikro meter. Bahan bakar, oksigen, serta uap dimasukkan ke dalam *gasifier* secara bersamaan. Uap pada system ini digunakan untuk memberikan kandungan air pada bahan bakar, sehingga tekstur bahan bakar berubah menjadi bubuk agar mudah dimasukkan ke dalam *gasifier*. Penggunaan uap air inilah yang harus dibayar dengan peningkatan energi yang dibutuhkan. *Entrained-flow bed gasifier* dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan cara memasukkan bahan bakar yaitu *side-feed entrained flow* dan *top-feed entrained flow*.



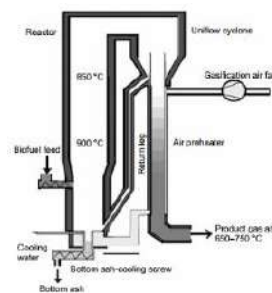
Gambar 3.5 *Entrained-Flow Gasifier*: (a) *side-feed entrained flow* dan (b) *top-feed entrained flow* (Basu, 2010)

3. *Fluidized Bed*

Fluidized bed merupakan jenis *gasifier* yang memiliki perpaduan udara dan bahan bakar yang baik, serta keseragaman temperatur di dalam *gasifier*. *Fluidized bed* terbuat dari material butiran padat yang disebut bed material yang diletakkan pada kondisi semi tersuspensi (keadaan terfluidasi) dengan media gasifikasi seperti udara melewati bed material dengan kecepatan yang optimal. Pencampuran zat padat dan gas yang sangat baik dan inersia termal yang besar membuat jenis *gasifier* ini relatif tidak peka terhadap kualitas bahan bakar. Bersamaan dengan ini, keseragaman suhu sangat mengurangi resiko penggumpalan bahan bakar. *Fluidized bed gasifier* dibedakan menjadi dua jenis:

- a. *Fast fluidized bed (Circulating fluidized bed)*

Fast fluidized bed merupakan suatu kondisi yang terjadi ketika kecepatan superficial gas dinaikkan yang mengakibatkan partikel terdorong ke atas, keluar dari ruang bakar. Partikel yang keluar dari ruang bakar ini akan masuk kembali ke ruang bakar separator siklon. Partikel yang masuk kembali ke ruang bakar akan bercampur dengan partikel bed dan bahan bakar dan akan mengalami efek fluidisasi kembali.

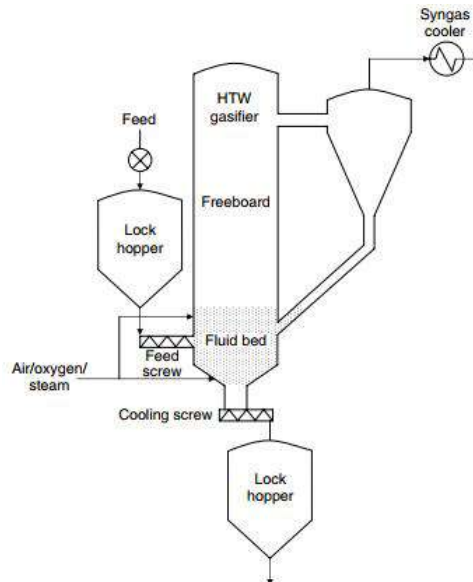


Gambar 3.6 *Circulating fluidized bed Gasifier* (Basu, 2010)

b. *Bubbling Fluidized Bed*

Bubbling fluidized bed merupakan tipe *fluidized bed* paling tua. Partikel biomassa yang digunakan berukuran relatif kecil yaitu kurang dari 10 mm. Material bed terfluidasi oleh media yang digunakan baik uap, udara, oksigen, atau kombinasi dari material tersebut. Abu yang dihasilkan baik dari bahan bakar maupun bahan anorganik yang terkait dengannya dapat dikeringkan dengan mudah dari bagian bawah bed. *Bubbling fluidized bed* dikategorikan menjadi gasifikasi *medium* dan *high temperatur winkler* (HTW). Gasifikasi *medium* dapat disuplai menjadi dua tahap. Suplai tahap pertama cukup untuk mempertahankan bed terfluidisasi pada suhu yang diinginkan. Suplai tahap kedua ditambahkan di atas bed untuk mengubah partikel char dan *hidrokarbon* yang tidak bereaksi menjadi gas yang berguna. Tekanan bed dijaga 10 bar, sementara temperatur dijaga pada 800° C untuk menghindari pelelehan

abu. HTW menghasilkan gas dengan kualitas lebih baik dibanding dengan temperatur medium.



Gambar 3.7 *Fluidized bed Gasifier* (Basu, 2010)

3.4 Faktor Yang Mempengaruhi Produk Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi produk *producer gas* yang dihasilkan (Basu, 2010). Faktor-faktor tersebut adalah:

a. Media gasifikasi

Media gasifikasi akan bereaksi dengan karbon padat dan zat hidrokarbon yang lebih berat. Hal itu terjadi untuk merubah bahan bakar padat menjadi gas dengan massa molekul yang ringan seperti CO dan H₂ (Basu, 2010). Media utama yang digunakan pada proses gasifikasi adalah sebagai berikut:

a. Oksigen

Oksigen merupakan media gasifikasi yang paling dikenal, kegunaan utamanya adalah untuk pembakaran sebagian pada *gasifier* gasifikasi. Oksigen dapat disuplai dalam *gasifier* gasifikasi baik dalam bentuk murni ataupun dalam bentuk udara. Nilai kalor dan komposisi dari gas yang dihasilkan dari *gasifier* gasifikasi merupakan fungsi kuat dari kondisi dan jumlah dari media gasifikasi.

Bila media gasifikasi memiliki kandungan oksigen yang rendah maka CO akan terbentuk dan bila kandungan oksigen tinggi maka akan terbentuk CO₂. Bila jumlah oksigen melebihi jumlah oksigen tertentu (kondisi stoikiometris) maka proses akan berubah menjadi proses pembakaran yang akan menghasilkan *fluegas*. Selain itu jumlah oksigen yang tinggi juga mengurangi jumlah kandungan hidrogen yang dihasilkan dan memperbanyak campuran yang berbasis karbon dalam gas yang dihasilkan. Nilai kalor yang dihasilkan dengan menggunakan media oksigen berkisar sekitar 12-28 MJ/Nm³.

b. Uap Air

Bila uap air digunakan sebagai media gasifikasi maka kandungan hidrogen dalam gas yang dihasilkan akan meningkat sehingga perbandingan antara hidrogen dan karbon (H dan C) dalam gas akan meningkat. Pemilihan media gasifikasi juga mempengaruhi nilai kalor dari gas yang dihasilkan. Nilai kalor yang dihasilkan dengan menggunakan media uap air berkisar (sekitar 10-18 MJ/Nm³).

c. Udara

Bila udara yang digunakan sebagai media gasifikasi maka nitrogen dalam udara akan mempengaruhi gas yang dihasilkan dan mengurangi nilai kalornya. Udara sebagai media gasifikasi menghasilkan gas dengan nilai kalor terendah yaitu sekitar 4-7 MJ/Nm³.

b. Karakteristik Biomassa

Karakteristik biomassa merupakan faktor yang dapat menentukan hasil dari produk gasifikasi. Secara umum karakteristik biomassa dapat diketahui dengan melakukan *proximate analysis* dengan mengetahui persentase dari beberapa senyawa yang terdapat pada biomassa sebagai berikut:

1. *Moisture*

Biomassa dengan kandungan *moisture* sekitar 30% menyebabkan sulitnya penyalaan dan menurunkan nilai kalor gas hasil karena kebutuhan untuk menguapkan *moisture* tambahan sebelum gasifikasi dapat terjadi. Kandungan *moisture* yang tinggi menurunkan temperatur yang dicapai pada zona oksidasi, menghasilkan pemecahan tak sempurna hidrokarbon yang dilepaskan dari zona pyrolysis. Meningkatnya kandungan *moisture* dan kehadiran CO menghasilkan H₂ melalui *water gas shift reaction*

2. *Volatile Matter*

Volatile adalah senyawa senyawa gas yang dilepas biomassa saat mengalami atau pemanasan. Senyawa tersebut dapat bersifat *combustible* meliputi metan, hidrokarbon, hidrogen, karbon monoksida. Senyawa *incombustible* meliputi karbon dioksida dan nitrogen.

3. *Fixed carbon*

Fixed carbon adalah padatan yang masih tersisa bersama dengan abu setelah biomassa melewati proses pyrolysis. Kandungan utama karbon terikat adalah elemen C. Persentase nilai karbon sangat berpengaruh terhadap *heating value* suatu bahan bakar.

4. *Ash*

Ash merupakan produk sisa pembakaran. *Ash* terbentuk dari material bermineral tinggi yang dapat menghambat gasifikasi. Temperatur oksidasi seringkali di atas titik leleh abu biomassa, mengakibatkan masalah *clinkering* maupun *slagging*.

c. Rasio Bahan Bakar dan Udara

Rasio bahan bakar dengan udara sangat berpengaruh terhadap komposisi *flammable syn-gas*.

d. Temperatur *Gasifier*

Dalam setiap langkah proses gasifikasi yang terjadi dalam *gasifier* gasifikasi selalu berhubungan erat dengan temperatur untuk masing –

masing proses, sehingga dalam satu *gasifier* gasifikasi terdapat profil sebaran suhu yang dapat merepresentasikan masing – masing zona dari proses gasifikasi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa suhu ini juga terkait dengan nilai *equivalence ratio*. Selain itu suhu atau profil suhu pada *gasifier* gasifikasi juga dipengaruhi oleh faktor parameter yang lain, seperti : properti biomassa, suhu media gasifikasi, insulator, dan yang lainnya. Pada sisi lain suhu *gasifier* gasifikasi menjadi penentu dari beberapa parameter unjuk kerja dari *gasifier* gasifikasi, seperti tingkat keadaan abu, kandungan tar, dan komposisi producer gas.

3.5 Tar

Tar merupakan campuran hidrokarbon kompleks yang terdiri dari oksigen, cincin aromatik 1 sampai 5, dan hidrokarbon polyaromatik kompleks (Devi, 2003). *Tar* sangat tidak diinginkan karena dapat menimbulkan masalah berikut:

1. Kondensasi dan penyumbatan selanjutnya dari peralatan hilir
2. Pembentukan aerosol tar
3. Polimerisasi menjadi struktur yang lebih kompleks

Meskipun demikian, *tar* adalah produk sampingan yang tidak dapat dihindari dari proses *konversi* termal termasuk gasifikasi.

3.5.1 Batas Kandungan Tar

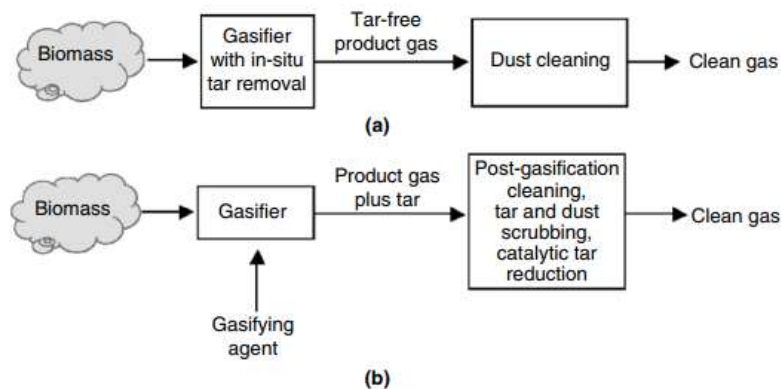
Tar akan bercampur dan ikut terbawa aliran *producer gas* sebelum akhirnya terkondensasi pada temperatur rendah. Dalam pemanfaatannya sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam seperti mesin diesel dan mesin otto, *tar* akan terkondensasi pada sistem perpipaan dan injeksi sehingga ikut masuk ke dalam ruang bakar. *Tar* yang terbakar pada ruang bakar akan menyebabkan kerak, partikel padat seperti kerak pada ruang bakar akan merusak piston dan silinder mesin tersebut. Pembatasan kandungan *tar* pada *producer gas* bertujuan untuk menghindari kerusakan komponen mesin. Berikut adalah batas kandungan *tar* pada *producer gas* berdasarkan penggunaannya, (Basu, 2010):

Tabel 3.1. Batas Kandungan *Tar* pada *Producer gas* Biomassa

No	Penggunaan	Tar (g/Nm ³)
1	Bahan bakar mesin pembakaran dalam	0,1
2	Turbin gas	0,05-5
3	Mesin IC	50-100
4	Kompresor	50-500

3.5.2 Pengurangan Kandungan Tar

Tar yang dihasilkan pada gasifikasi batu bara dapat digunakan sebagai bahan baku industri kimia dan dapat diolah kembali menjadi produk yang memiliki nilai jual tinggi. Pada gasifikasi batu bara komponen pembentuk *tar* terdiri dari *benzene*, *tolune*, *xylene*, dan *tar* batu bara. Disisi lain *tar* yang dihasilkan melalui gasifikasi biomassa merupakan *tar* yang teroksigenasi dan tidak memiliki nilai jual. *Tar* yang dihasilkan oleh gasifikasi biomassa dapat menurunkan kualitas *producer gas*, menghambat distribusi temperatur pada *gasifier* gasifikasi, dan menghasilkan karbon berat yang menyebabkan pencemaran udara jika *producer gas* yang memiliki kandungan *tar* tinggi digunakan sebagai bahan bakar. Pada proses gasifikasi dikenal dua metode untuk mengurangi produksi *tar*, yaitu dengan *in-situ tar reduction* dan *post-gasification-secondary reduction of tar* (Basu, 2010).



Gambar 3.8 Metode penghilang tar: (a) *In-situ tar reduction* dan (b) *Post-gasification-secondary reduction of tar* (Basu., 2010)

In-situ tar reduction dilakukan dengan berbagai cara sehingga pembentukan tar di dalam *gasifier* dapat berkurang. Hal-hal yang dapat dilakukan dengan metode *In-situ tar reduction* meliputi modifikasi kondisi operasi *gasifier*, penambahan katalis, dan modifikasi desain *gasifier*. Karena proses ini dilakukan di *gasifier*, maka akan mempengaruhi kualitas producer gas.

Post-gasification-secondary reduction of tar, metode ini diterapkan pada bagian yang terpisah dari *gasifier* sehingga tidak mempengaruhi kualitas producer gas. Terdapat dua cara umum yang dapat digunakan pada metode *post-gasification-secondary reduction of tar* yaitu dengan *physical removal* dan *cracking*. *Physical removal* meliputi penggunaan *cyclone*, *scrubber*, *barrier filters*, *wet electrostatic precipitators*, *wet scrubbers*, atau *alkali salts*.

3.6 Wet Scrubber

Secara umum *scrubber* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *wet scrubber* dan *dry scrubber*. Masalah yang sering dialami pada penggunaan *dry scrubber* adalah pengurangan kandungan tar yang tidak signifikan ketika temperatur yang dihasilkan dari proses gasifikasi tinggi. Cara kerja *wet scrubber*, dilakukan dengan cara menyemprotkan media absorben tar secara langsung ke arah *producer gas*, sehingga *impurities* dan *tar* yang terkandung di dalam *producer gas* menyatu dengan media absorben, untuk absorben dapat menggunakan air, minyak sayur, dan limbah oli. *Producer gas* yang telah bersih kemudian dilewatkan ke dalam botol impinger yang diberi cairan isopropanol, selanjutnya ditimbang massanya untuk mendapatkan kandungan *tar* (*gravimetric tar*).

3.7 Analisis Perhitungan

3.7.1 Kinerja Gasifier

Parameter output yang dapat digunakan untuk menganalisa unjuk kerja *gasifier* adalah temperatur aksial zona gasifikasi dan *wet scrubber*, temperatur *producer gas* saat masuk dan keluar *wet scrubber*, komposisi gas, dan mampu nyala gas.

1. Temperatur aksial zona gasifikasi

Temperatur aksial zona gasifikasi dipengaruhi oleh *equivalence ratio*, dan dapat diketahui dengan membaca *thermocouple* yang terpasang pada setiap zona gasifikasi.

2. Temperatur *producer gas* saat masuk dan keluar *wet scrubber*

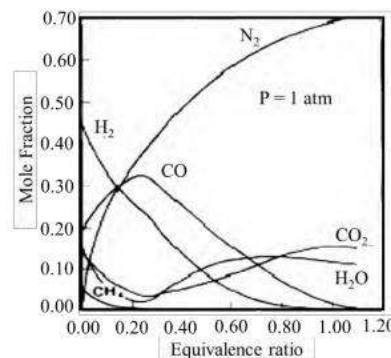
Temperatur *producer gas* saat masuk dan keluar *wet scrubber* dapat diketahui dengan membaca *thermocouple* yang terpasang pada saluran masuk dan keluar *wet scrubber*.

3. Komposisi gas mampu nyala

Komposisi gas mampu nyala diketahui dengan menganalisa komposisi *producer gas* menggunakan *gas chromatogram (GC)*.

3.7.2 Equivalence Ratio

Equivalence ratio adalah perbandingan aliran udara aktual dengan aliran udara stoikiometri. Pada gasifikasi biomassa, *equivalence ratio* yang ideal 0,2-0,4 (Kaupp dan Goss, 1981), dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Equivalence ratio* yang ideal untuk gasifikasi

3.7.3 Komposisi Feedstock

Formula kimia *feedstock* dapat ditulis $C_xH_yO_zN_k$, dengan nilai x , y , z , dan k diperoleh dari Persamaan (3.12) di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\%C}{AW_c} = \frac{\%C}{12}; & y &= \frac{\%H}{AW_H} = \frac{\%H}{1}; \\
 z &= \frac{\%O}{AW_o} = \frac{\%O}{16}; & k &= \frac{\%N}{AW_N} = \frac{\%N}{14};
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Untuk persentase nilai C, H, O, dan N diperoleh dari uji *ultimate*, dan nilai AW_C , AW_H , AW_O , dan AW_N merupakan berat atom dari C, H, O, dan N. Besarnya nilai H/O yang terdapat di dalam *feedstock* akan berbanding lurus dengan nilai H_2/CO yang terdapat di dalam *producer gas* saat temperatur gasifikasi 1200 °C (Adnan, 2007)

3.7.4 Fuel Consumption Rate (FCR)

Biomassa yang dibutuhkan pada proses gasifikasi dapat dihitung dengan rumus :

$$FCR = \frac{-\left[\frac{1}{4}\pi D^2 \Delta h\right] \rho_f}{t} \quad (3.13)$$

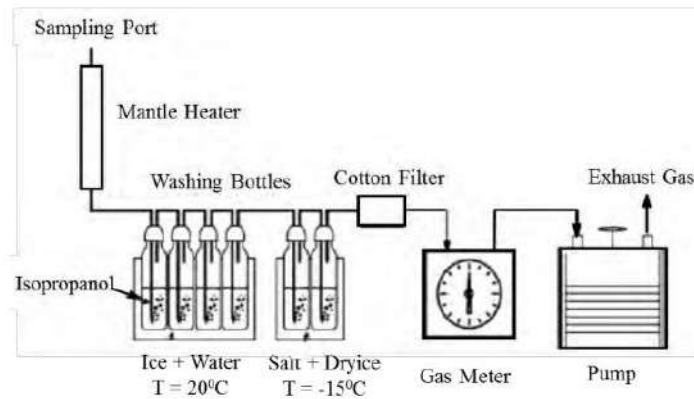
Dengan :

$$\rho_f = \frac{m}{v} \quad (3.14)$$

Massa jenis dari sekam padi berkisar diantara 70-110 kg/m^3 (Anonim, 2009). Pada penelitian ini penentuan nilai massa jenis dari sekam padi menggunakan rumus (3.14), m merupakan massa dari sekam padi yaitu 5 kg, dan v merupakan volume dari sekam padi gasifier.

3.7.5 Perhitungan Kandungan Tar

Pengambilan tar dalam *producer gas* dapat dilakukan dengan *impinger bottle method* seperti tampak pada Gambar 3.9. *Producer gas* dilewatkan pada botol *impinger* yang diisi dengan *isopropanol*. Saat melewati *impinger*, tar berkondensasi dan larut dengan *isopropanol*. Selanjutnya *isopropanol* dipanaskan sampai 50°C untuk memisahkan tar. Sisa pemanasan ini adalah jumlah tar yang terkandung dalam *producer gas*.



Gambar 3.10 *Impinger bottle method* (Son, dkk., 2011)

Perhitungan kandungan tar adalah perbandingan massa tar yang diperoleh setelah proses pengovenan *isopropanol* selama 17 jam dengan lama waktu sampling tar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\text{Kandungan tar} = \frac{m_{tar}}{Q_g \times t} \quad (3.15)$$

Dengan :

m_{tar} = Massa tar yang terdapat pada bejana setelah dioven (gram)

Q_g = Debit aliran *producer gas* saat masuk ke *impinger bottle* (lpm)

t = Lama waktu sampling (menit)

3.7.6 *Higher Heating Value*

Higher Heating Value (HHV) digunakan untuk menghitung persentase nilai kalor. HHV sendiri dihitung dari persentcombusase gas mampu bakar meliputi CO, H₂, dan CH₄ (Susastriawan, dkk., 2018).

$$HHV_g = \frac{[(X_1 HHV)_{CO} + (X_3 HHV)_{H_2} + (X_4 HHV)_{CH_4}]}{100} \quad (3.16)$$

Dengan :

x_1 , x_2 , dan x_4 didapatkan dari hasil uji chromatogram.

CO, H₂, dan CH₄ diperoleh dari penelitian Susastriawan, dkk., (2018), seperti Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Persentase Gas Mampu Bakar

Senyawa	CV (MJ/Nm ³)
CO	12,71
H ₂	12,78
CH ₄	39,76

3.7.7 Cold Gas Efficiency

Cold gas efficiency (CGE) dapat dicari dengan melakukan perhitungan seperti yang telah dilakukan oleh Susastriawan, dkk.. (2018), dan Prasad, dkk., (2015). Urutan perhitungan untuk mencari *cold gas efficiency* adalah sebagai berikut: (1) menghitung produksi *producer gas* per kilogram *feedstock*, (2) menghitung massa jenis *producer gas*, (3) menghitung energi *producer gas* perkilogram, dan (4) menghitung *cold gas efficiency*.

1. Produksi *producer gas* per kilogram *feedstock*

$$m_g = \frac{\sum x_i MW_i}{n} \quad (3.17)$$

Dengan :

$$\sum x_i MW_i = \frac{[(X_1 MW)_{CO} + (X_2 MW)_{CO_2} + (X_3 MW)_{H_2} + (X_4 MW)_{CH_4} + (X_5 MW)_{N_2}]}{100}$$

$$n = \frac{(X_1 + X_2 + X_4)}{x}$$

2. Massa jenis *producer gas*

$$\rho_g = \frac{[(X_1 \rho)_{CO} + (X_2 \rho)_{CO_2} + (X_3 \rho)_{H_2} + (X_4 \rho)_{CH_4} + (X_5 \rho)_{N_2}]}{100} \quad (3.18)$$

Dengan :

$$\rho_{CO} = 1,165 \text{ kg/Nm}^3 \quad \rho_{CH_4} = 0,668 \text{ kg/Nm}^3$$

$$\rho_{H_2} = 0,089 \text{ kg/Nm}^3 \quad \rho_{CO_2} = 1,842 \text{ kg/Nm}^3$$

$$\rho_{N_2} = 1,165 \text{ kg/Nm}^3$$

3. Energi *producer gas* perkilogram *feedstock*

$$E_g = \frac{m_g \times HHV_g}{\rho_g} \quad (3.19)$$

4. Cold gas efficiency

$$CGE = \frac{E_g}{HHV_f} \quad (3.20)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan objek yang memiliki variasi yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan menarik suatu kesimpulan. Pada penelitian ini terdapat tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

4.2.1 Variabel bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Debit air yang digunakan pada *wet scrubber* sebesar 1,5 lpm, 2 lpm, dan 2,5 lpm.
2. Arah semprotan pada *nozzle* adalah vertikal, horizontal, dan kombinasi (arah vertikal dan horizontal dinyalakan bersamaan).

4.2.2 Variabel terikat

Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Karakteristik gasifikasi yang diteliti yaitu, temperatur aksial gasifikasi, temperatur *producer gas*, dan kandungan tar saat masuk dan keluar *wet scrubber*.
2. Karakteristik *producer gas* yang diteliti yaitu, komposisi *producer gas*, nilai kalor *producer gas* (HHV_g), dan *cold gas efficiency*.

4.2.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah:

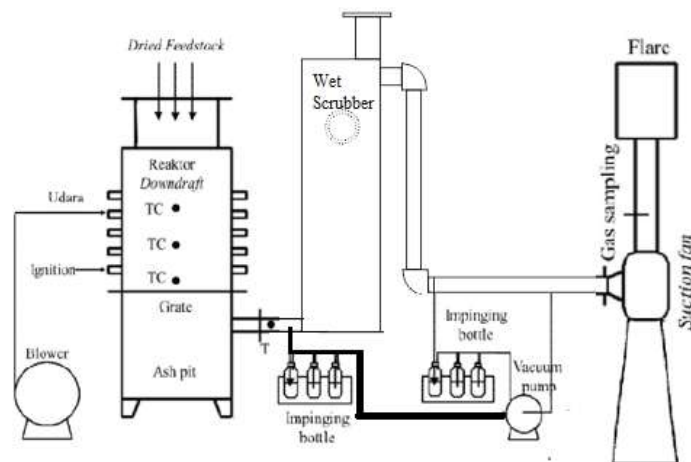
1. *Equivalence ratio* yang digunakan sebesar 0,3.
2. Jenis *nozzle* yang digunakan adalah *full clone nozzle*.

4.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari: *gasifier* model *downdraft* tipe *throat-less*. *Gasifier* tersebut terbuat dari pipa *steel* dengan tinggi *grate*-tutup 725 mm, sementara diameter dalam dan luar *gasifier*

adalah 300 mm dan 400 mm. Pada bagian luar *gasifier* dilakukan insulasi dengan menggunakan *glasswool*. *Blower* berfungsi untuk menyuplai udara ke dalam *gasifier* melalui *tuyer*. Laju aliran udara gasifikasi diukur menggunakan *rotameter* dan besar nilai kecepatan laju aliran diatur menggunakan *valve*.

Wet scrubber digunakan untuk menyaring *impurities* dan mengurangi kandungan tar yang terkandung dalam *producer gas*. *Suction fan* digunakan untuk mengalirkan *producer gas* keluar *gasifier*. Termokopel K digunakan untuk mengukur temperatur pada setiap zona gasifikasi. *Data logger* digunakan untuk mencatat data pada masing-masing zona melalui pengukuran termokopel. *Water pump* digunakan untuk menaikkan media absorben berupa air dari penampungan air ke saluran *nozzle*. *Proximate analysis* dilakukan dengan menggunakan *elemental analyzer*, sedangkan *ultimate analysis* dilakukan dengan *bomb calorimeter*. *Gas chromatogram* digunakan untuk mengetahui komposisi *producer gas*. Timbangan digunakan untuk mengukur massa *feedstock*. Oven digunakan untuk mengeringkan *feedstock*, sementara stopwatch digunakan untuk menghitung waktu proses pengeringan *feedstock* dan proses gasifikasi. Pengambilan sampel *producer gas* dilakukan dengan menggunakan *vacutainer*. Air digunakan sebagai media *scrubber*. *Feedstock* yang digunakan adalah sekam padi. Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dan kemudian skema pada *wet scrubber* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Skema Penelitian

4.4.2 Persiapan bahan baku

Persiapan bahan baku meliputi pengeringan sekam padi dengan panas matahari selama 1 hari. Sekam padi yang digunakan tidak spesifik terhadap jenis padi tertentu. Tahap selanjutnya yaitu melakukan pengeringan dalam oven pada suhu 383 K selama 30 menit. Tahap persiapan bahan baku lainnya yaitu air yang digunakan sebagai media absorben pada *wet scrubber*.

4.4.3 Proses gasifikasi

Prosedur gasifikasi dilakukan dengan urutan tahap sebagai berikut:

1. Mempersiapkan dan melakukan pengecekan peralatan meliputi *inverter, thermocouple, blower, water pump, dan data logger*.
2. Set lokasi udara *inlet* dan atur laju udara gasifikasi dengan *valve* dan diukur dengan *rotameter* sesuai dengan *equivalence ratio*.
3. Masukkan *feedstock* ke dalam *gasifier* dan ukur tinggi *level load* yang berada di atas tutup *gasifier*.
4. Set debit aliran dan arah semprotan *nozzle* sesuai dengan variasi yang diberikan.
5. Nyalakan *blower, suction fan, data logger, water pump, dan vacuum pump*. Selanjutnya inisiasi gasifikasi melalui *ignition port* serta catat waktu mulai inisiasi *feedstock*.
6. Setelah keluar asap dari *flare*, mulai lakukan *flaring*. Pengambilan sampel *producer gas* dilakukan pada menit 10 dari api mulai menyala.
7. Lakukan perbandingan temperatur *producer gas* sebelum dan setelah keluar *wet scrubber*.
8. Lakukan pengambilan sampel *tar* sebelum dan setelah keluar *wet scrubber*.
9. Catat waktu gasifikasi berakhir (ditandai dengan matinya *flare* dan *feedstock* habis tergasifikasi) dan matikan *blower, suction fan, dan vacuum pump*.

10. Isopropanol dalam botol *impinger* diuapkan dengan oven pada temperatur 50°C selama 17 jam dan lakukan penimbangan *tar*.
11. Sampel *producer gas* diuji komposisi CO, CO₂, H₂, dan CH₄ dengan *gas chromatogram*. Persentase N₂ dihitung dengan metode *nitrogen balance*.

4.4.4 Pengambilan data karakteristik dan kinerja *gasifier*

Penelitian terhadap karakteristik *gasifier* meliputi temperatur aksial zona gasifikasi dan *wet scrubber*, temperatur *producer gas* saat masuk dan keluar *wet scrubber*, kandungan tar pada *producer gas* saat masuk dan keluar *wet scrubber*. Sedangkan penelitian terhadap kinerja *gasifier* meliputi komposisi *producer gas*, nilai kalor pada *producer gas*, dan *cold gas efficiency*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *gasifier* kapasitas <100 kWh, *feedstock* sekam padi dengan massa 5 kg, *equivalence ratio* yang digunakan 0,3, jarak *tuyser* dan *grate* 400 mm, media absorben pada *wet scrubber* adalah air dengan variasi debit air yang masuk *wet scrubber* 1,5 lpm, 2 lpm, dan 2,5 lpm. Kemudian untuk *nozzle sprayer* yang digunakan berjenis *full clone nozzle*, dan diletakan secara vertikal dan horizontal. Posisi peletakan nozzle ini juga dijadikan variasi dalam penelitian ini. Untuk lebih jelasnya setup pengujian karakteristik *gasifier* dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

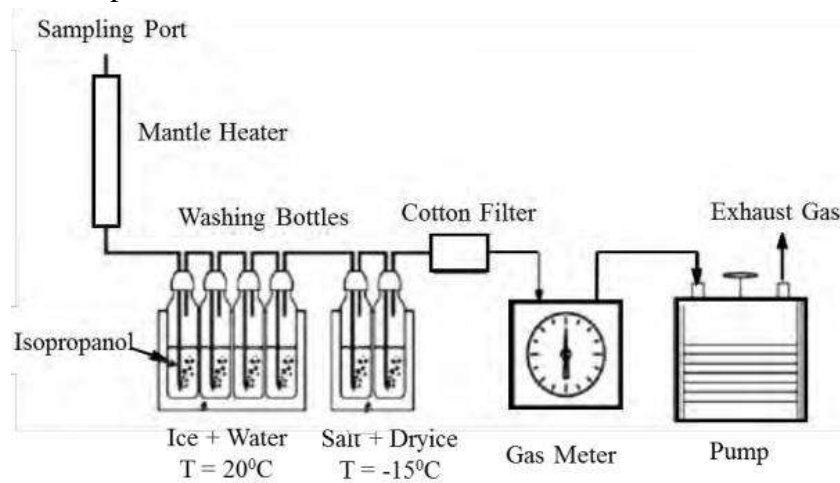
Tabel 4.1 Setup pengujian karakteristik *gasifier*

Massa Sekam Padi (Kg)	Posisi Nozzle	Debit Air (lpm)	Setup
5	Vertikal	1,5	1
		2	2
		2,5	3
5	Horizontal	1,5	4
		2	5
		2,5	6
5	Gabungan	1,5	7

	Vertikal dan	2	8
	Horizontal	2,5	9

4.5 Analisa Produk

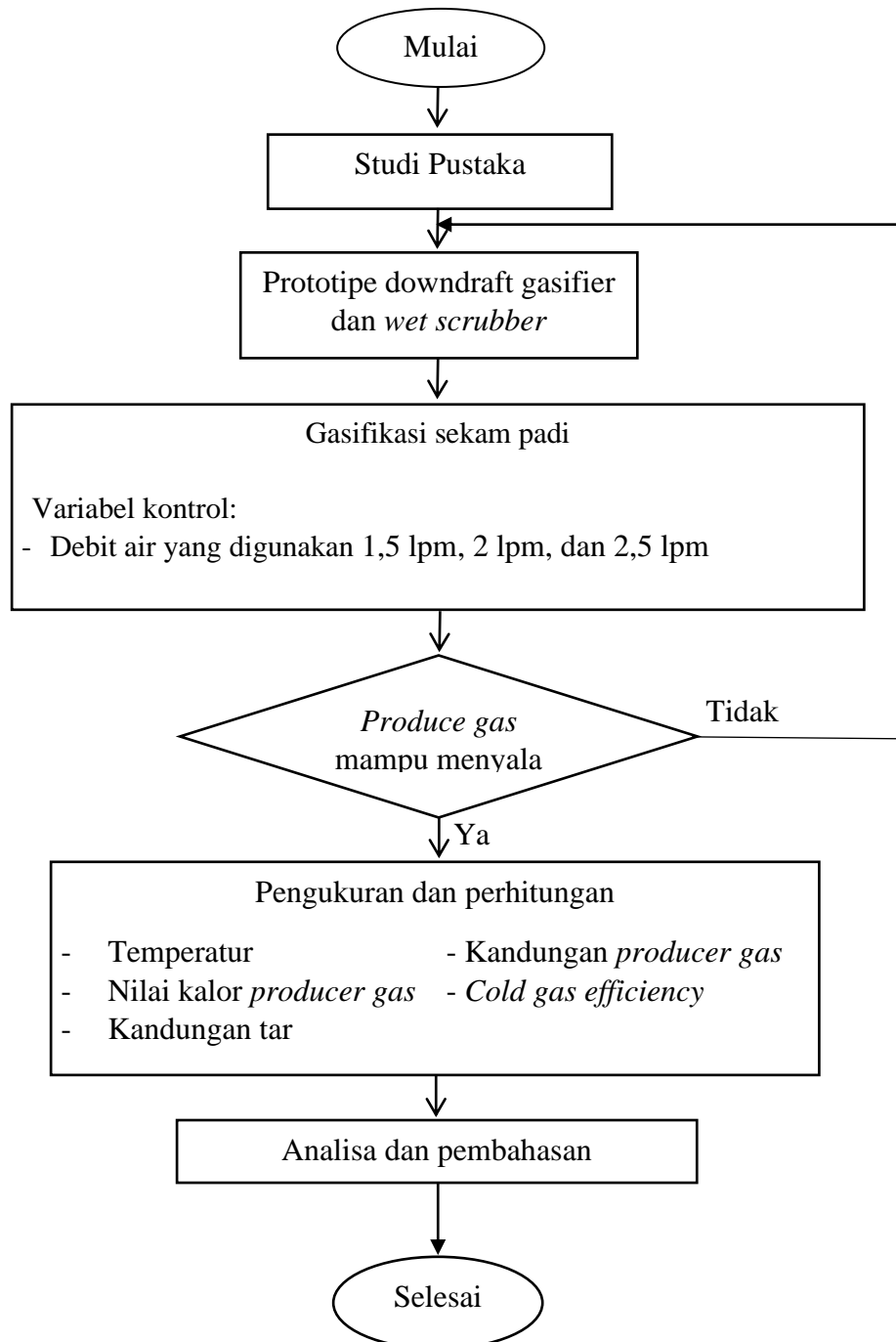
Produk producer gas dianalisa dengan menggunakan *gas chromatogram*, sedangkan produksi tar dianalisa menggunakan *impinger bottle*. Analisa *producer gas* dilakukan di Laboraturium Analisis Instrumental, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Skema analisa kandungan tar menggunakan *impinger bottle* dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.4 Skema analisis menggunakan *impinger bottle*

4.6 Diagram Alur Penelitian

Alur tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.5 Diagram Alur Penelitian

Gambar 4.4 menunjukkan penelitian diawali dengan studi pustaka, seperti mencari literatur-literatur yang membahas tentang gasifikasi, *wet scrubber*, biomassa, dan sekam padi. Setelah mempelajari dan memahami literatur yang ada, dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe *downdraft gasifier* dan *wet scrubber*. Penelitian ini memvariasikan debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber* untuk mengetahui, menganalisis, dan memahami pengaruh variasi debit air sebagai media absorben pada *wet scrubber* terhadap karakteristik gasifikasi dan kinerja *gasifier* model *downdraft* dengan *feedstock* sekam padi .

Setelah itu dilakukan uji nyala flare, apakah menyala atau tidak. Jika tidak menyala maka dilakukan pengecekan terhadap rancangan *downdraft gasifier* dan *wet scrubber*. Jika flare menyala, barulah dilakukan pengambilan data dan perhitungan karakteristik *gasifier* dan kinerja *wet scrubber*. Kemudian data dan hasil perhitungan yang diperoleh akan di analisis apakah sesuai dengan literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Jika tidak sesuai, maka dilakukan pengecekan dan pengujian ulang, dan jika sesuai maka didapat ditarik kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian ini.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Hasil Uji *Proximate*, *Ultimate*, dan Nilai Kalor *Feedstock*

Pengujian *proximate*, *ultimate*, dan nilai kalor dilakukan di Laboratorium Puslitbang Tekmira, Kementerian ESDM, Bandung, Jawa Barat. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

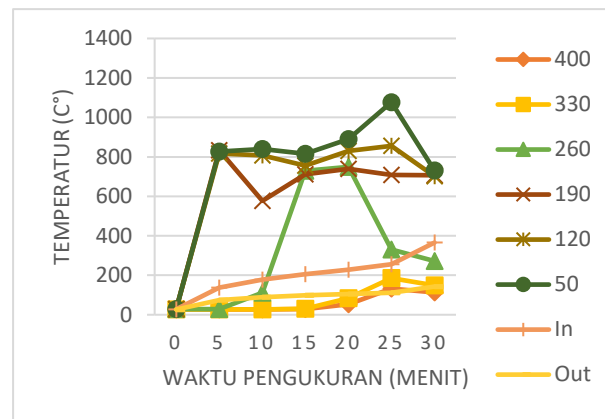
Tabel 5.1 Hasil Uji *Proximate*, *Ultimate*, dan Nilai Kalor *Feedstock*

<i>Proximate Analysis</i>	
Parameter Uji	Hasil (%)
<i>Fixed Carbon</i>	12,83
<i>Volatille matter</i>	56,20
<i>Ash</i>	21,17
<i>Moisture</i>	9,80
<i>Ultimate Analysis</i>	
Paramter Uji	Hasil (%)
C	34,05
H	5,35
O	39,14
N	0,17
S	0,12
<i>HHV_f 13,393 MJ/Kg</i>	

Dari persentase nilai C, H, O, dan N yang diperoleh dari Tabel 5.1, senyawa kimia untuk *feedstock* sekam padi dapat ditulis $C_{2,84}H_{5,35}O_{2,45}N_{0,01}$.

5.2 Analisis Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur pada proses gasifikasi 5 kg sekam padi, diukur menggunakan termokopel K pada ketinggian 50, 120, 190, 260, 330, dan 400 mm di atas grate. Dengan menggunakan *equivalence ratio* (ϕ) 0,30, pengukuran dilakukan setiap 5 menit setelah api menyala. Hasil pengukuran distribusi temperatur pada setiap varian dapat dilihat pada Gambar 5.1-5.4.

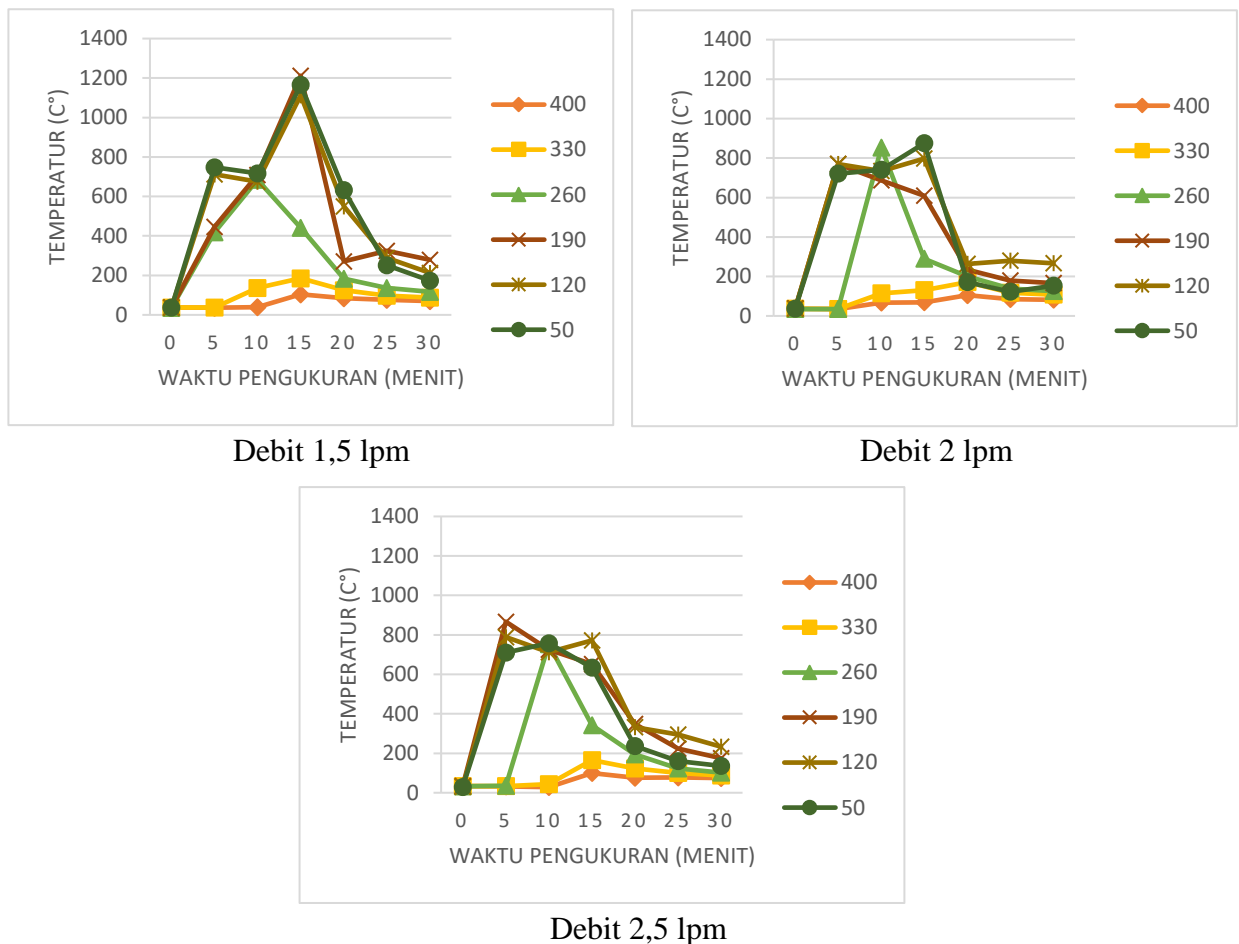


Gambar 5.1 Grafik distribusi temperatur varian Tanpa *Wet Scrubber*

Dari Gambar 5.1, dapat dilihat temperatur tertinggi saat proses gasifikasi adalah 1077,2 °C pada titik 50 mm di atas *grate* saat menit 25 waktu gasifikasi, dan temperatur tertinggi berikutnya terjadi pada titik 120, dan 190 mm di atas *grate* pada menit yang sama. Kenaikan temperatur yang bersamaan pada ketiga titik tersebut dikarenakan terjadi proses pembakaran pada bara sekam padi, dan proses gasifikasi pada *gasifier* telah selesai saat menit 19 waktu gasifikasi. Hal ini dikarenakan, waktu nyala api pada varian TWS yang berakhir pada menit 19 waktu gasifikasi berdekatan dengan waktu pencatatan temperatur saat menit 20. Kemudian, temperatur pada semua titik mengalami penurunan secara bertahap dari menit 25-30 waktu gasifikasi, yang menandakan pembakaran bara sekam padi telah selesai, dan menjadi *ash* seutuhnya.

Tentunya, pencatatan temperatur pada varian TWS berbeda dengan varian lain, dimana pada varian WSK, WSH, dan WSV mengalami penurunan temperatur pada titik 50, 120, dan 190 mm diatas *grate* pada menit ke 5-10 waktu gasifikasi, kemudian mengalami kenaikan temperatur pada menit ke 10-15 waktu gasifikasi, dan kemudian pada menit ke 15, temperatur turun kembali. Hal ini dikarenakan, pada menit ke 5-10 waktu gasifikasi, terjadi proses pembakaran bara sekam padi yang menyebabkan temperatur pada titik 50, 120, dan 190 mm diatas *grate* mengalami kenaikan. Kemudian, temperatur pada semua titik mengalami penurunan secara bertahap dari menit

25-30 waktu gasifikasi, yang menandakan pembakaran pada bara sekam padi telah selesai, dan menjadi *ash* seutuhnya.

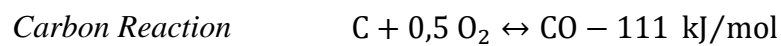


Gambar 5.2 Grafik distribusi temperatur varian WSK

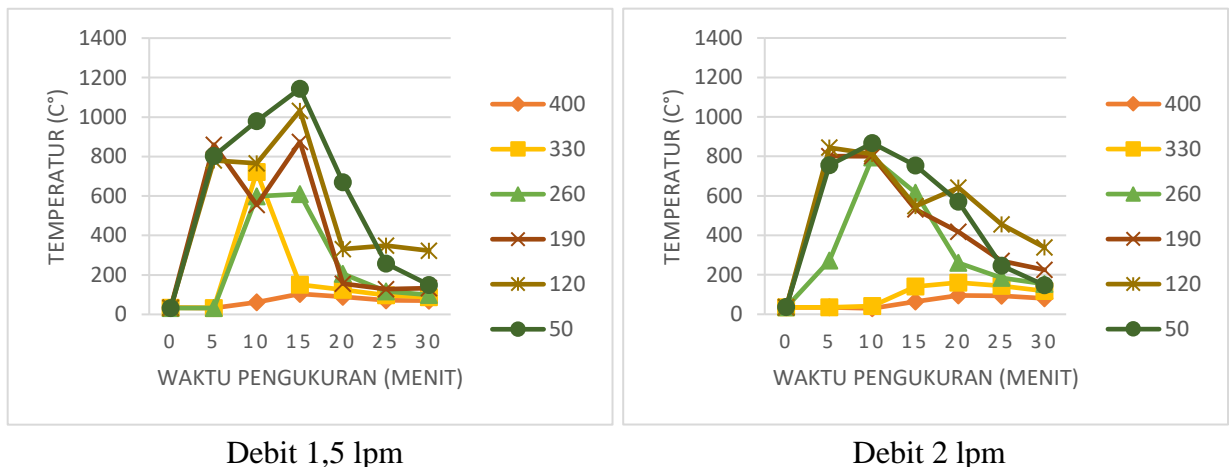
Dari Gambar 5.2 dapat dilihat, temperatur gasifikasi tertinggi pada debit 1,5 lpm sebesar 747,1 °C di titik 50 mm di atas *grate* pada menit 5 waktu gasifikasi, kemudian pada menit 5-10 waktu gasifikasi terjadi penurunan temperatur pada titik 50, 120, dan 190 mm. Hal ini juga terjadi pada varian debit 2 lpm, dan 2,5 lpm, masing-masing memiliki temperatur tertinggi sebesar 769 °C pada titik 50 mm di atas *grate*, dan 866,6 °C pada titik 190 mm di atas *grate*, dan semuanya terjadi pada menit 5 waktu gasifikasi, yang kemudian mengalami penurunan temperatur pada menit 5-10 waktu gasifikasi pada titik 50, 120, dan 190 mm.

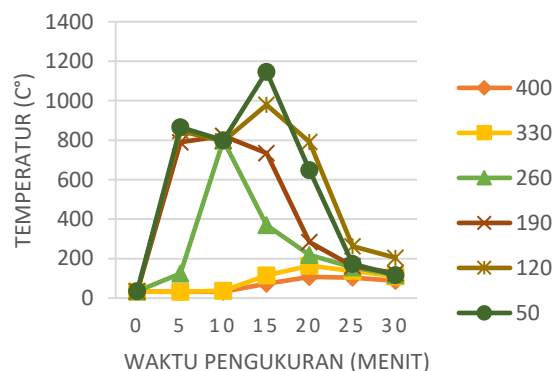
Kemudian pada semua varian debit WSK pencatatan temperatur di titik 50, 120, dan 190 mm mengalami kenaikan pada menit 10-15 waktu

gasifikasi, hal ini dikarenakan pada rentang waktu tersebut terjadi proses pembakaran bara sekam padi di dalam *gasifier*. Pembakaran ini dapat terjadi karena *feedstock* pada *gasifier* telah habis, dan yang tersisa adalah bara sekam padi, sementara udara tetap dialirkan masuk ke dalam *gasifier*, sehingga bara sekam padi terbakar, dan dari proses pembakaran tersebut menghasilkan kalor. Dengan terbakarnya bara sekam padi inilah yang menyebabkan temperatur pada menit 15 waktu gasifikasi di titik 50, 120, dan 190 mm di atas *grate* pada varian WSK 1,5 lpm mengalami kenaikan hingga 1211,5 °C. Hal ini sesuai dengan persamaan *carbon reation* (Basu, 2010).



Berdasarkan reaksi di atas dapat dikatakan *Char* atau bara sekam padi (C), terbakar kemudian menghasilkan gas CO dan dari reaksi tersebut mengeluarkan kalor sebesar 111 kJ/mol. Hal ini lah yang menjadi kemungkinan penyebab temperatur pada rentang waktu 10-15 menit waktu gasifikasi mengalami kenaikan. Kemudian, pada menit 15-30 di setiap varian debit, temperatur di setiap titik mengalami penurunan dikarenakan bara sekam padi telah menjadi *ash* seutuhnya.





Debit 2,5 lpm

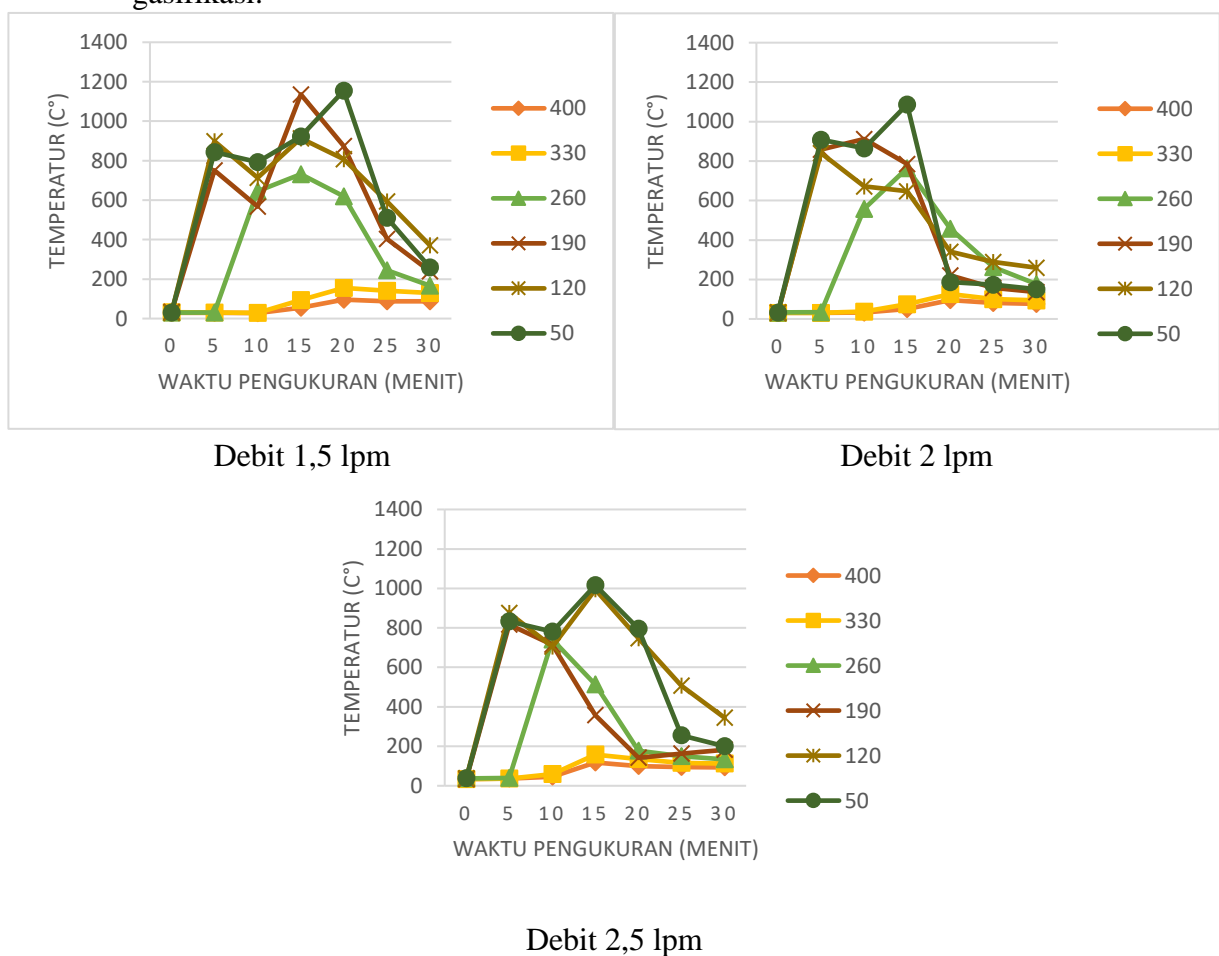
Gambar 5.3 Grafik distribusi temperatur varian WSH

Dari Gambar 5.3 dapat dilihat, temperatur gasifikasi WSH tertinggi terjadi pada debit 1,5 lpm sebesar 859,6 °C di titik 50 mm di atas *grate* pada menit 5 waktu gasifikasi, kemudian pada titik 120 dan 190 mm di atas *grate* terjadi penurunan temperatur pada menit 5-10 waktu gasifikasi yang menandakan proses gasifikasi telah selesai dikarenakan *feedstock* yang terdapat pada *gasifier* sudah habis. Hal ini juga terjadi pada varian debit 2 lpm, dan 2,5 lpm, masing-masing memiliki temperatur tertinggi sebesar 844 °C pada titik 120 mm di atas *grate*, dan 866,8 °C pada titik 50 mm di atas *grate*.

Pada setiap varian debit WSH dapat dilihat, pencatatan temperatur mengalami kenaikan pada menit 10-15, hal ini dikarenakan pada menit 10-15 tersebut terjadi pembakaran bara sekam padi di dalam *gasifier*. Pembakaran ini dapat terjadi karena *feedstock* pada *gasifier* telah habis, dan yang tersisa adalah bara sekam padi, sementara udara tetap dialirkan masuk ke dalam *gasifier*, sehingga bara sekam padi terbakar, dan dari proses pembakaran tersebut menghasilkan kalor. Dengan terbakarnya bara sekam padi inilah yang menyebabkan temperatur pada menit 15 waktu gasifikasi di titik 50, 120, dan 190 mm di atas *grate* pada varian WSH 1,5, dan 2,5 lpm masing-masing mengalami kenaikan hingga 1144,1 °C, dan 1147,3 °C. Dengan terbakarnya bara sekam padi inilah yang menyebabkan temperatur di dalam *gasifier* mengalami kenaikan. Kemudian, pada menit ke 15-30 waktu

gasifikasi, temperatur di setiap titik mengalami penurunan secara bertahap, hal ini dikarenakan bara sekam padi telah menjadi *ash* seutuhnya.

Akan tetapi pada varian WSH 2 lpm, temperatur di titik 50, 120, dan 190 mm pada menit 10-15 sebesar 867,4 °C. Temperatur pada varian WSH 2 lpm ini, tidak mengalami kenaikan yang signifikan seperti varian WSH 1,5 lpm, dan 2,5 lpm. Hal ini kemungkinan dikarenakan bara sekam padi pada varian WSH 2 lpm tidak sebanyak varian WSH yang lain (2 lpm, dan 2,5 lpm), dan kemungkinan lain yang terjadi dikarenakan pada varian WSH 2 lpm pada menit 10-15 sekam padi pada gasifier telah menjadi ash seutuhnya, sehingga di titik 50, 120, dan 190 mm pada menit 10-15 waktu gasifikasi tidak mengalami kenaikan temperatur. Tetapi yang terjadi adalah setiap titik mengalami penurunan temperatur secara bertahap dari menit 10-30 waktu gasifikasi.



Gambar 5.4 Grafik distribusi temperatur varian WSV

Dari Gambar 5.4 dapat dilihat, temperatur gasifikasi tertinggi pada debit 1,5 lpm sebesar 909,3 °C di titik 50 mm di atas *grate* pada menit 5 waktu gasifikasi, lalu mengalami penurunan pada menit 5-10 waktu gasifikasi yang menandakan proses gasifikasi telah selesai, dikarenakan *feedstock* yang terdapat pada *gasifier* sudah habis. Hal ini juga terjadi pada varian debit 2 lpm, dan 2,5 lpm, masing-masing memiliki temperatur tertinggi sebesar 874,5 °C pada titik 120 mm di atas *grate*, dan 898,1 °C pada titik 120 mm di atas *grate* pada menit 5 waktu gasifikasi.

Kemudian pada varian WSV 1,5 lpm, 2 lpm, dan 2,5 lpm di titik 50, 120, dan 190 mm pada menit 5-10 waktu gasifikasi terjadi penurunan temperatur. Dan temperatur kembali meningkat pada menit 10-15, hal ini dikarenakan pada rentang menit tersebut terjadi pembakaran bara sekam padi di dalam *gasifier*. Pembakaran ini dapat terjadi karena *feedstock* pada *gasifier* telah habis, dan yang tersisa adalah bara sekam padi, sementara udara tetap dialirkan masuk ke dalam *gasifier*, sehingga bara sekam padi terbakar, dan dari proses pembakaran tersebut menghasilkan kalor. Dengan terbakarnya bara sekam padi inilah yang menyebabkan temperatur pada menit 15 waktu gasifikasi di titik 50, 120, dan 190 mm di atas *grate* pada varian WSV 1,5 lpm mengalami kenaikan hingga 1154,3 °C. Kemudian pada menit 15-30 waktu gasifikasi, pada setiap varian debit temperatur mengalami penurunan secara bertahap dikarenakan bara sekam padi telah menjadi *ash* seutuhnya.

Dari keseluruhan data distribusi temperatur yang dapat dilihat pada Gambar 5.1-5.4, temperatur pada titik 50, 120, dan 190 mm di atas *grate* yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya waktu gasifikasi menandakan terjadinya perambatan *burning front* ke *fresh feedstock*. Arah perambatan yang naik ke atas, sesuai dengan kinerja dari *downdraft gasifier* dimana arah perambatannya berlawanan dengan arah aliran udara yang masuk ke *gasifier* (Susastriawan, 2018). Besarnya nilai laju reaksi, dan tinggi zona reduksi berpengaruh terhadap pembentukan gas mampu bakar yang terdapat di dalam *producer gas*, sehingga menyebabkan tinggi rendahnya nilai HHV_g dan CGE (Susastriawan, 2018).

Banyak sedikitnya bara sekam padi sisa dari proses gasifikasi mempengaruhi kenaikan temperatur setiap varian pada menit menit 10-15 waktu gasifikasi. Dengan semakin banyaknya bara sekam padi sisa gasifikasi di dalam *gasifier* akan menyebabkan kalor yang dihasilkan semakin besar, dan temperatur semakin tinggi. Hal inilah yang menyebabkan beberapa varian penelitian memiliki kenaikan temperatur sampai dengan 1211,5 °C, dan ada hanya sampai 867,4 °C pada menit 10-15 waktu gasifikasi.

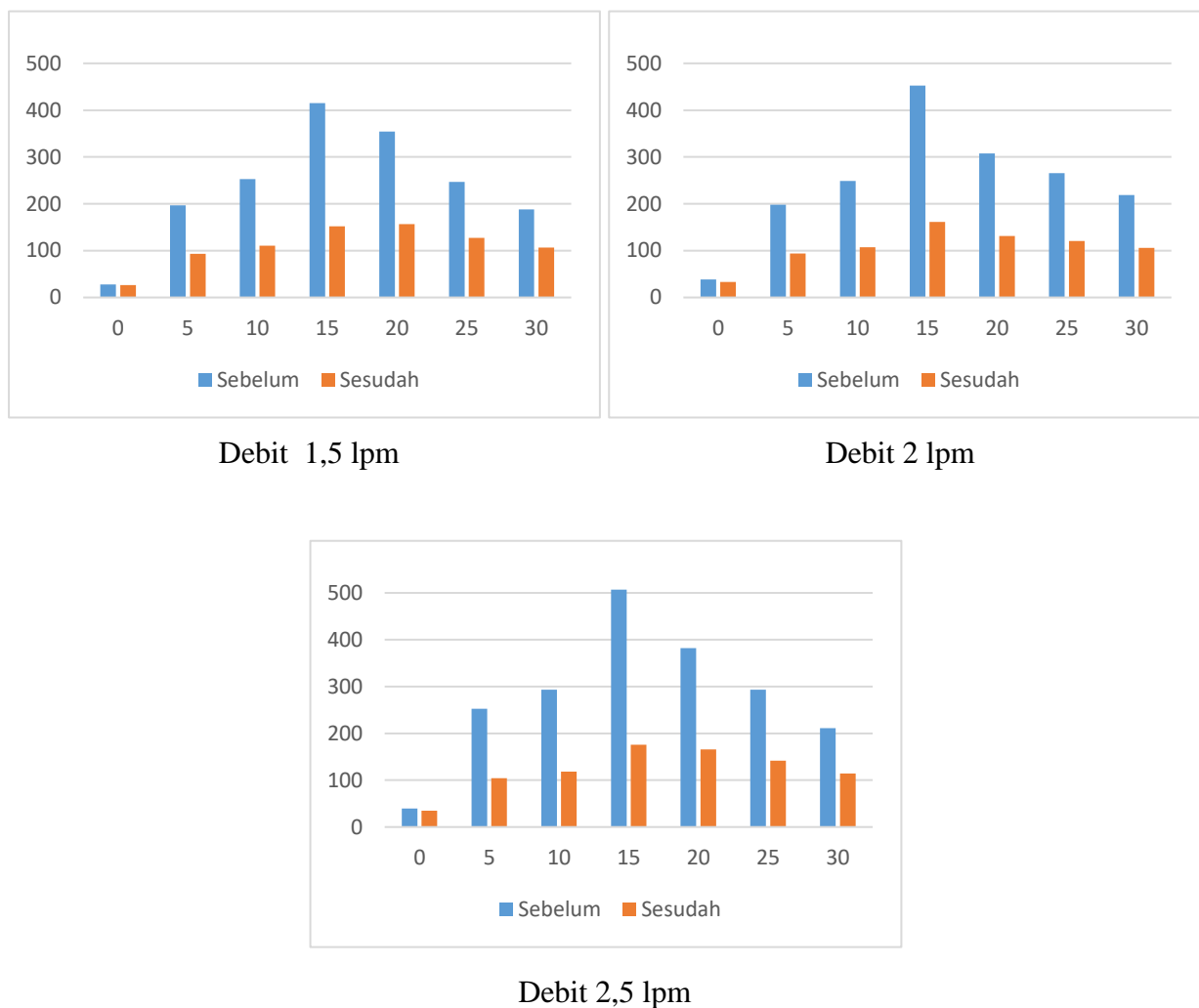
Dengan penambahan *wet scrubber*, dapat dilihat pada menit 10-15 waktu gasifikasi, temperatur pada titik 50 mm, 120 mm, dan 190 mm meningkat hal ini dikarenakan pada 260 mm, 330 mm, dan 400 mm sudah tidak ada *fresh feedstock*. Berdasarkan distribusi temperatur, proses gasifikasi berlangsung cepat saat gasifikasi berjalan selama 10 menit, sehingga *fresh feedstock* sudah habis di antara menit 10-15. Karena *fresh feedstock* pada titik 260 mm, 330 mm, dan 400 mm sudah habis, sehingga proses oksidasi yang berada di bawahnya tidak lagi digunakan untuk proses pengeringan ataupun pirolisis, dan mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur pada titik 50 mm, 120 mm, dan 190 mm. Penyebab perambatan *burning front* ke *fresh feedstock* yang berlangsung cepat ini dikarenakan air yang masuk ke dalam *wet scrubber* menghambat laju aliran *producer gas*, sehingga tekanan dan temperatur *producer gas* pada saluran *output gasifier* meningkat, dan menyebabkan proses oksidasi pada sisi tersebut berlangsung cepat.

Hal ini juga yang menyebabkan durasi nyala kontinyuitas api pada gasifikasi dengan *wet scrubber* cepat mati jika dibandingkan dengan gasifikasi tanpa penambahan *wet scrubber*. Pada varian Tanpa *Wet Scrubber*, proses gasifikasi terjadi lebih lambat dikarenakan kemungkinan pada menit 5-10 waktu gasifikasi, terjadi *chanelling* dan *bridging*. Hal ini terjadi karena proses oksidasi pada *fresh feedstock* tidak merata, sehingga perambatan *burning front* ke *fresh feedstock* lambat, dan menyebabkan kemungkinan *fresh feedstock* masih ada diantar menit 10-15 waktu gasifikasi. Oleh karena itu, pada varian tanpa *wet scrubber* temperatur pada titik 50 mm, 120 mm, dan

190 mm, belum mengalami peningkatan temperatur pada menit ke 10-15 waktu gasifikasi.

5.3 Temperatur *Producer Gas* Sebelum dan Sesudah *Wet Scrubber*

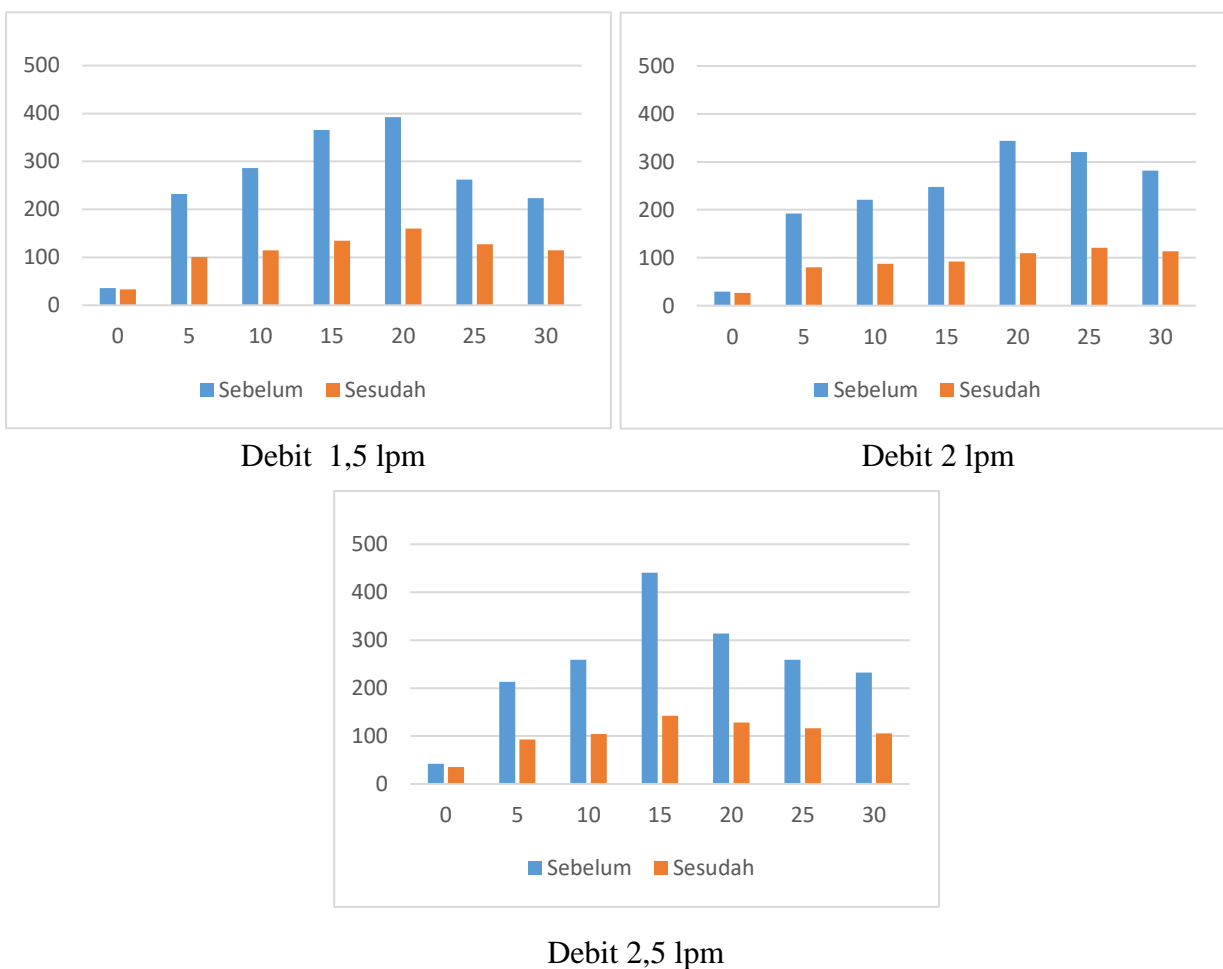
Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *wet scrubber* dengan media air, efektif untuk menurunkan temperatur *producer gas*. Untuk hasil pengukuran temperatur dapat dilihat pada Gambar 5.5 – 5.7 berikut.



Gambar 5.5 Temperatur sebelum dan sesudah WSH

Dari Gambar 5.5 dapat dilihat, temperatur sebelum tertinggi dan temperatur sesudah pada debit 1,5 lpm sebesar 415,3 °C dan 152,2 °C, pada debit 2 lpm sebesar 452,2 °C dan 161,6 °C, dan pada debit 2,5 lpm sebesar 507,2 °C dan 175,5 °C. Dengan besarnya penurunan temperatur pada debit 1,5 lpm sebesar 263,1 °C, pada debit 2 lpm sebesar 290,6 °C, dan pada debit

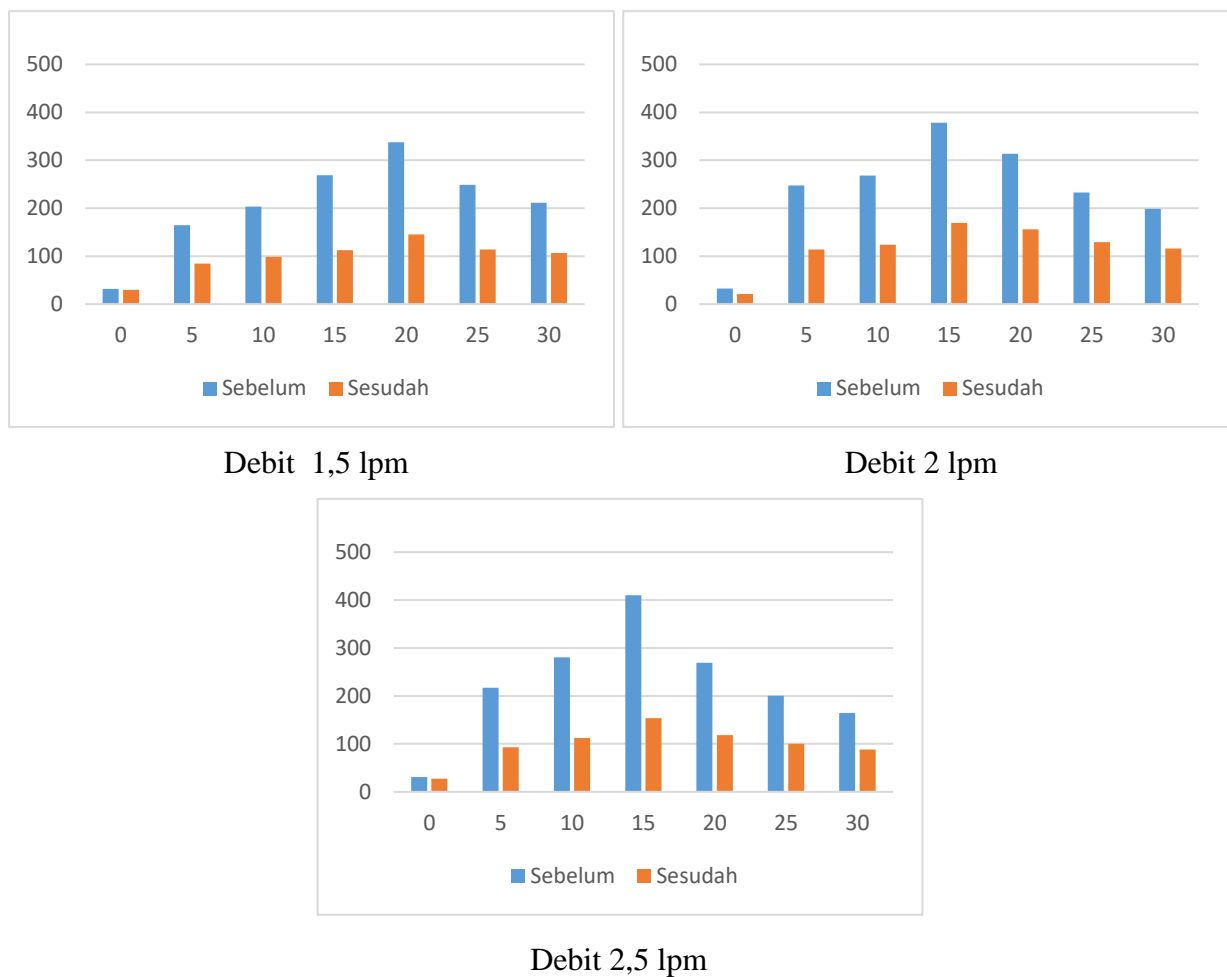
2,5 lpm sebesar 331,7 °C. Penyebab varian WSH 2,5 lpm memiliki temperatur masuk yang tinggi dikarenakan temperatur di *gasifier* pada menit 15 memiliki temperatur yang tinggi juga, yaitu sebesar 1147,3 °C. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, pada varian *wet scrubber* dengan arah semprotan horizontal ini, dapat dilihat *trend* penurunan temperatur semakin meningkat seiring dengan kenaikan debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber*.



Gambar 5.6 Temperatur sebelum dan sesudah WSV

Dari Gambar 5.6 dapat dilihat, temperatur sebelum tertinggi dan temperatur sesudah pada debit 1,5 lpm sebesar 392,4 °C dan 160,3 °C, pada debit 2 lpm sebesar 344 °C dan 108,2 °C, dan pada debit 2,5 lpm sebesar 440,5 °C dan 142,3 °C. Dengan besarnya penurunan temperatur pada debit 1,5 lpm sebesar 232,1 °C, pada debit 2 lpm sebesar 235,8 °C, dan pada debit

2,5 lpm sebesar 298,2 °C. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, pada varian *wet scrubber* dengan arah semprotan vertikal ini, dapat dilihat *trend* penurunan temperatur semakin meningkat seiring dengan kenaikan debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber*.

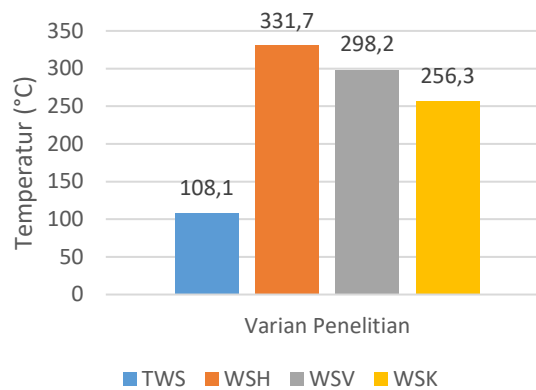


Gambar 5.7 Temperatur sebelum dan sesudah WSK

Dari Gambar 5.7 dapat dilihat, temperatur sebelum tertinggi dan temperatur sesudah pada debit 1,5 lpm sebesar 337,7 °C dan 145,4 °C, pada debit 2 lpm sebesar 378,3 °C dan 169,3 °C, dan pada debit 2,5 lpm sebesar 410,3 °C dan 154 °C. Dengan besarnya penurunan temperatur pada debit 1,5 lpm sebesar 192,3 °C, pada debit 2 lpm sebesar 209 °C, dan pada debit 2,5 lpm sebesar 256,3 °C. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, pada varian *wet scrubber* dengan arah semprotan kombinasi ini, dapat dilihat *trend* penurunan

temperatur semakin meningkat seiring dengan kenaikan debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber*.

Dari Gambar 5.5-5.7 dapat ditarik kesimpulan penambahan *wet scrubber* terbukti efektif untuk menurunkan temperatur *producer gas*, hal ini dibuktikan dengan semakin banyak debit air yang masuk, penurunan temperatur akan semakin meningkat. Tinggi rendahnya temperatur masuk *wet scrubber* dipengaruhi oleh tinggi rendahnya temperatur di dalam *gasifier*. Untuk besaran penurunan temperatur dapat dilihat pada Gambar 5.8 di bawah ini.

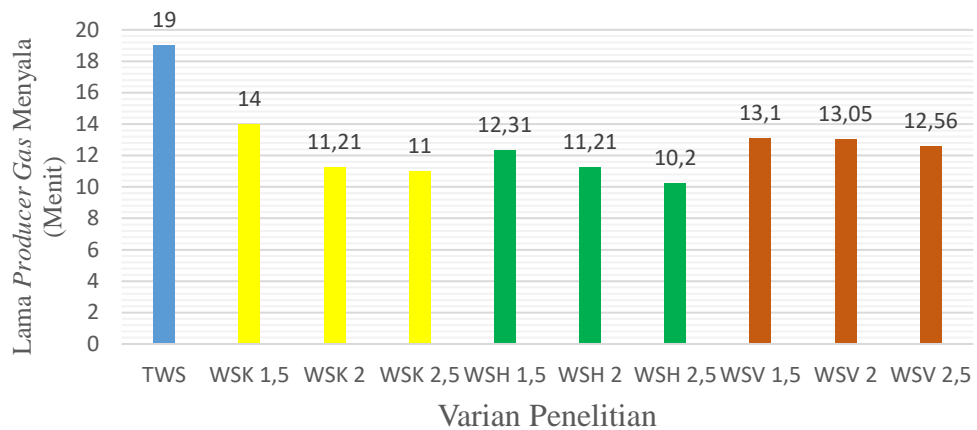


Gambar 5.8 Grafik perbandingan penurunan temperature pada debit 2,5 lpm

Dari Gambar 5.8 dapat dilihat, arah semprotan yang paling banyak menurunkan temperatur adalah arah horizontal. Hal ini dikarenakan temperatur sebelum *wet scrubber* untuk arah horizontal lebih tinggi jika dibandingkan dengan varian lain yaitu sebesar 507,2 °C. Penyebab temperatur sebelum yang tinggi ini dikarenakan peletakan *nozzle* untuk varian horizontal berada disamping saluran masuk *wet scrubber*, sehingga air yang keluar menghambat laju aliran *producer gas*, dan mengakibatkan kenaikan, dan temperatur pada *gasifier*. Selain itu juga temperatur di dalam *gasifier* sangat mempengaruhi tinggi rendahnya temperatur masuk *wet scrubber*.

5.4 Kontinuitas Nyala *Producer Gas*

Lama waktu *producer gas* yang menyala pada *flare* kita ukur menggunakan *stopwatch* mulai dari menit pertama api menyala sampai api mati. Hasil pengukuran kontinuitas nyala api dari hasil gasifikasi sekam padi sebanyak 5 kg sekam padi, dapat dilihat pada Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5.9 Grafik kontinuitas nyala *producer gas*

Dari Gambar 5.9 nyala *producer gas* paling lama terjadi pada varian tanpa *wet scrubber* selama 19 menit, dan dengan penambahan *wet scrubber* mengakibatkan nyala *producer gas* menjadi lebih cepat mati. Hal ini dikarenakan air pada *wet scrubber* menghambat laju aliran *producer gas*, sehingga tekanan dan temperatur pada sisi *output gasifier* meningkat. Dengan meningkatnya temperatur tersebut, menyebabkan peningkatan *fuel consumption rate* sehingga *feedstock* cepat habis, dan proses gasifikasi pada *gasifier* berlangsung dengan cepat. Hal ini lah yang menyebabkan *trend* pada Gambar 5.9 mengalami penurunan kontinuitas nyala api seiring dengan bertambahnya besaran debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber*. Walaupun demikian, pada varian WSV *trend* penurunan kontinuitas nyala api tidak signifikan *trend* penurunan kontinuitas nyala api varian WSK, dan varian WSH. Hal ini dikarenakan FCR pada varian WSV lebih stabil jika dibandingkan dengan FCR pada varian WSK dan varian WSH, mengingat cepat atau lamanya nyala kontinuitas api dipengaruhi oleh FCR pada *gasifier*.

5.5 Analisis *Fuel Consumption Rate* (FCR)

Banyak sedikitnya konsumsi *feedstock* disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya, laju aliran fluida gasifikasi, ukuran *feedstock*, dan kadar air yang terkandung di dalam *feedstock*. Semakin tinggi laju aliran fluida gasifikasi menyebabkan konsumsi *feedstock* semakin banyak, ukuran *feedstock* yang

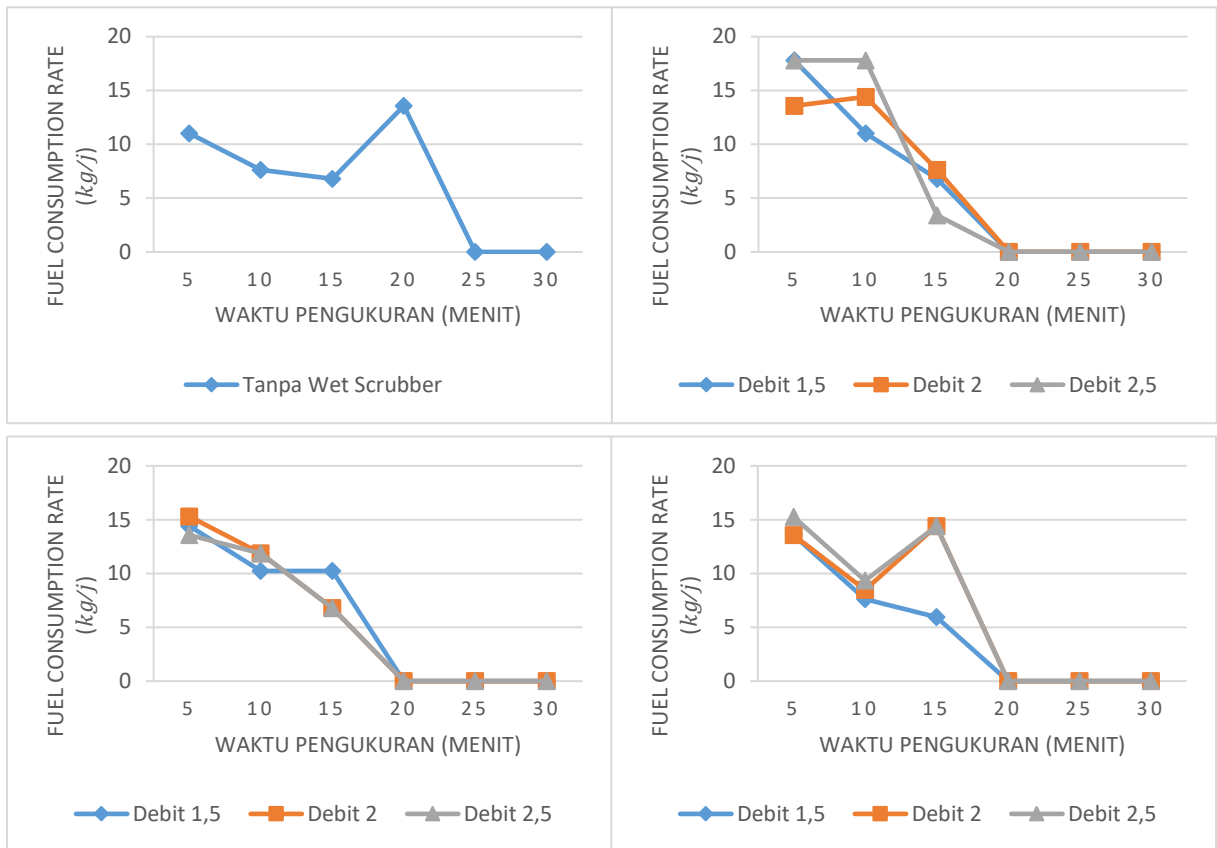
semakin kecil menyebabkan konsumsi *feedstock* semakin banyak, dan kemudian banyak kandungan air pada *feedstock* menyebabkan laju konsumsi *feedstock* semakin rendah. Hal ini dikarenakan waktu yang diperlukan ketika proses *drying* lebih panjang, sehingga durasi proses *pyrolysis* dan proses lainnya menjadi lebih panjang.

Pada penelitian ini, FCR diukur setiap 5 menit ketika api telah menyala, dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan (3.13), maka diperoleh hasil FCR seperti Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil perhitungan FCR

Variable Penelitian	Fuel Consumption Rate (FCR) menit ke- (kg/j)					
	5	10	15	20	25	30
TWS	11,02	7,63	6,78	13,57	0	0
WSK 1,5 lpm	17,80	11,02	6,78	0	0	0
WSK 2 lpm	13,57	14,41	7,63	0	0	0
WSK 2,5 lpm	17,80	17,80	3,41	0	0	0
WSH 1,5 lpm	14,41	10,24	10,24	0	0	0
WSH 2 lpm	15,30	11,87	6,78	0	0	0
WSH 2,5 lpm	13,57	11,87	6,78	0	0	0
WSV 1,5 lpm	13,57	7,63	5,94	0	0	0
WSV 2 lpm	13,57	8,48	14,41	0	0	0
WSV 2,5 lpm	15,26	9,33	14,41	0	0	0

Dari Tabel 5.2 di atas, dapat kita ubah menjadi bentuk grafik seperti pada Gambar 5.10 di bawah ini.



(c) WSH

,(d) WSV

Gambar 5.10 Grafik *fuel consumption rate* pada varian (a) Tanpa *wet scrubber*, (b) *Wet scrubber* kombinasi, (c) *Wet scrubber* horizontal, dan (d) *Wet scrubber* vertikal

Secara umum dapat dilihat bahwa nilai FCR tinggi pada 5 menit pertama, hal ini menandakan gasifikasi berlangsung cepat pada 5 menit pertama. Kemudian dengan penambahan *wet scrubber*, terjadi peningkatan nilai FCR hal ini menandakan perambatan *burning front* ke *fresh feedstock* berlangsung cepat. Akan tetapi, pada varian tanpa *wet scrubber* perambatan *burning front* ke *fresh feedstock* berlangsung lambat. Perambatan yang cepat atau lambat ini disebabkan peristiwa *channelling* dan *bridging*. Peristiwa ini terjadi karena adanya penumpukan abu di atas *grate* sehingga perambatan oksidasi dari *burning front* ke *fresh feedstock* lambat. *Channelling* dan *bridging* juga terjadi karena laju aliran *producer gas* terhambat oleh air yang terdapat di dalam *wet scrubber*, sehingga proses oksidasi hanya terjadi pada

sisi *output gasifier* dan perambatan oksidasi berlangsung cepat. Hal ini juga menjadi salah satu faktor penyebab lama nyala *producer gas*.

Chanelling dan *bridging* adalah peristiwa terjadinya oksidasi pada area tertentu dengan luasan tertentu yang berada di dalam *gasifier* (Susastriawan, 2018). Setelah dilakukan pemutaran *grate*, abu akan turun ke bagian bawah dan pada menit berikutnya FCR meningkat.

Peristiwa *chanelling* dan *bridging* dapat dilihat pada Gambar 5.11 di bawah ini.



Gambar 5.11 Peristiwa *chanelling* dan *bridging*

FCR yang tinggi kemungkinan dipengaruhi oleh besaran debit air yang masuk ke dalam *wet scrubber*. Dengan semakin besar debit air yang masuk menyebabkan luasan area yang dilewati *producer gas* menjadi semakin kecil sehingga mengakibatkan aliran *producer gas* terhambat dan terjadi *knock back* pada *producer gas* yang mengalir. Hal ini menyebabkan temperatur pada *gasifier* meningkat dan menyebabkan proses *burning front* ke *fresh feedstock* semakin cepat. Kemudian dari Gambar 5.10 dapat dilihat, FCR yang dominan stabil terjadi pada varian WSH, hal ini kemungkinan dikarenakan posisi *nozzle* pada varian WSH berada tepat disamping lubang masuk *producer gas* ke dalam *wet scrubber*.

Pada varian TWS nilai FCR mengalami kenaikan pada menit 20 waktu gasifikasi, hal ini kemungkinan dikarenakan pada menit 15-20 waktu gasifikasi terdapat tumpukan *ash* di atas *grate* akibat dari *chanelling* dan *bridging*. Kemudian, saat *grate* diputar pada menit 20 waktu gasifikasi, tumpukan *ash* tadi dan *fresh feedstock* yang telah menjadi abu turun secara bersamaan, mengingat nyala api pada varian TWS berlangsung selama 19 menit. Penumpukan *ash* di atas *grate* tersebut juga terjadi pada varian WSV 2

lpm, dan 2,5 lpm pada menit ke 15, mengingat pada varian ini nyala api berlangsung selama 13,10 menit, dan 13,05 menit.

5.6 Analisis Kandungan Tar

Untuk mengetahui nilai kandungan tar dari tiap variabel penelitian, berat tar telah ditimbang dihitung menggunakan Persamaan (3.14). Hasil kandungan tar dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

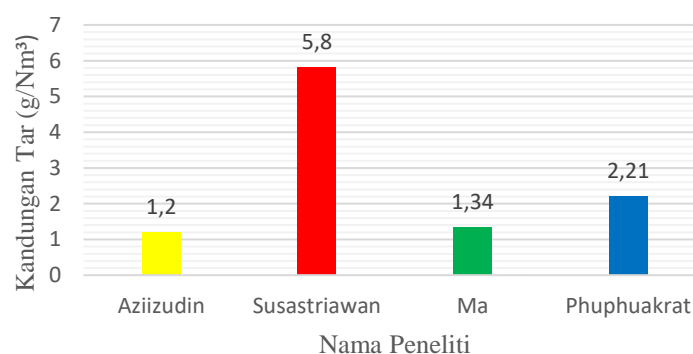
Tabel 5.3 Hasil perhitungan kandungan tar

Variasi Penelitian	Kandungan Tar ($\frac{g}{Nm^3}$)
Tanpa <i>Wet Scrubber</i>	2,00
WSK 1,5 lpm	2,42
WSK 2 lpm	1,58
WSK 2,5 lpm	1,20
WSH 1,5 lpm	1,87
WSH 2 lpm	1,83
WSH 2,5 lpm	1,75
WSV 1,5 lpm	1,79
WSV 2 lpm	1,70
WSV 2,5 lpm	1,67

Dari Tabel 5.3 di atas, dapat dilihat kandungan tar paling rendah diperoleh pada varian WSK 2,5 sebesar $1,20 \frac{g}{Nm^3}$. Kandungan tar pada varian ini lebih sedikit jika dibandingkan dengan varian tanpa WS, dan penelitian sebelumnya, dapat dilihat pada Gambar 5.9. Hal ini dikarenakan tekanan, dan kecepatan aliran dari media *absorben* sangat mempengaruhi kandungan tar. Air dapat mengikat tar yang berukuran kecil, dikarenakan proses difusi. Proses difusi ini terjadi akibat ukuran tar yang kecil dan bergerak secara acak di dalam ruang yang terbatas (Joseph, 1984). Akan tetapi, pada tar yang tidak atau kurang terlarut dalam air. Penurunan nilai tar gravimetrinya dapat dikaitkan dengan proses kondensasi, hal ini dikarenakan temperatur air yang masuk ke *wet scrubber* lebih rendah dari pada temperatur

producer gas yang masuk ke *wet scrubber*, sehingga sebagian tar terpisah di permukaan air (Phuphuakrat, 2011).

Namun pada varian WSK 1,5 didapatkan kandungan tar sebesar 2,42 $\frac{g}{Nm^3}$, hasil ini lebih besar jika dibandingkan dengan varian TWS, hal ini dikarenakan pada penelitian ini temperatur gasifikasi pada varian WSK 1,5 lebih rendah, yaitu sebesar 747,3 °C jika dibandingkan temperatur gasifikasi pada varian TWS sebesar 826,8 °C. Mengingat salah satu hal yang mempengaruhi kandungan tar adalah temperatur pada zona gasifikasi. Semakin tinggi temperatur pada zona gasifikasi, maka proses *tar cracking* pada zona reduksi akan semakin cepat, sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih sedikit (Machin, 2015). Hal ini sesuai dengan pencatatan distribusi temperatur pada Gambar 5.2, pada area gasifikasi (50 mm, 120 mm, dan 190 mm di atas *grate*) untuk varian WSK 1,5 lpm pada 5 menit proses gasifikasi temperatur belum mencapai 800 °C, karena pada temperatur 800 °C proses oksidasi terjadi yang nantinya panas dari hasil oksidasi tersebut akan digunakan untuk *tar cracking*. Berdasarkan data tersebut, secara keseluruhan penambahan *wet scrubber* sangat efektif untuk mengurangi kandungan tar sebanyak 6,5% - 40% jika dibandingkan dengan varian tanpa penambahan *wet scrubber*.

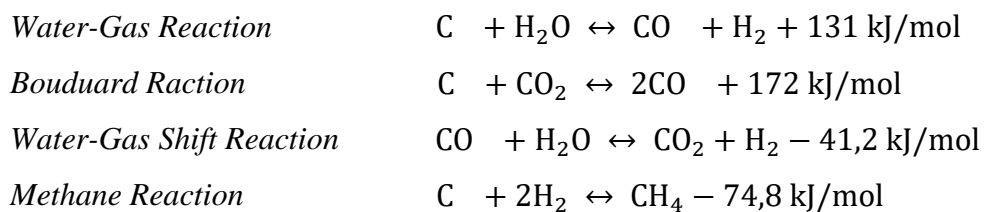


Gambar 5.12 Grafik perbandingan kandungan tar dengan peneliti terdahulu

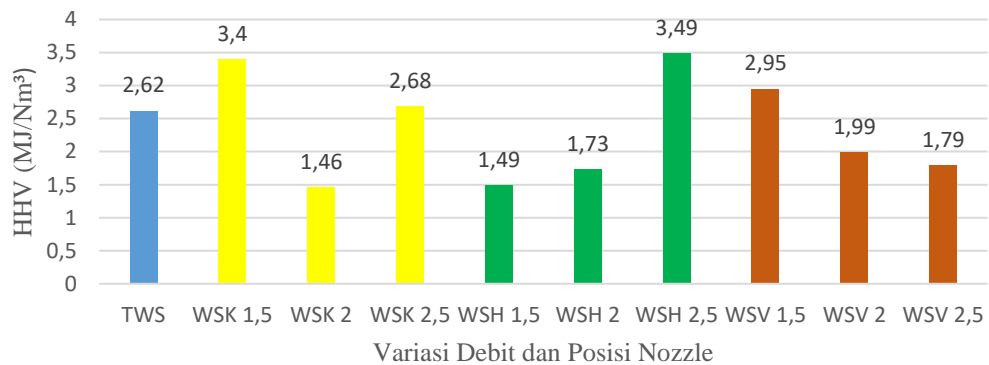
5.7 Analisis HHV dan CGE

Hasil perhitungan *higher heating value* (HHV) *producer gas* menggunakan Persamaan (3.15) dan *cold gas efficiency* (CGE) menggunakan Persamaan (3.19). Fraksi senyawa CO, CO₂, H₂, dan CH₄, diperoleh dari hasil uji *gas chromatogram* pada sample *producer gas* yang diambil pada menit ke 10 waktu gasifikasi.

Proses terbentuknya gas mampu bakar yang terdapat pada *producer gas* melalui beberapa reaksi (Basu, 2010). Reaksi tersebut dapat dilihat pada reaksi-reaksi berikut:



Penelitian ini menunjukkan kandungan H₂ mempengaruhi nilai HHV_g, dengan semakin tinggi kandungan CH₄, CO, dan H₂ akan meningkatkan nilai HHV_g. Peningkatan jumlah H₂ kemungkinan dikarenakan kandungan H₂ pada *producer gas* mengalami penambahan H₂ dari uap air (H₂O) yang terdapat pada *feedstock* atau media *absorben*. Akan tetapi pada beberapa varian, kandungan H₂ mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena sebagian H₂ pada varian tersebut dikonsumsi untuk membentuk CH₄ melalui reaksi Metanasi dan ada sebagian H₂ yang terbakar menjadi CO₂ secara tidak langsung melalui *water-gas shift reaction*. Untuk lebih jelasnya, hasil HHV_g keseluruhan pada penelitian gasifikasi dengan penambahan *wet scrubber* dapat dilihat pada Gambar 5.13 di bawah ini.

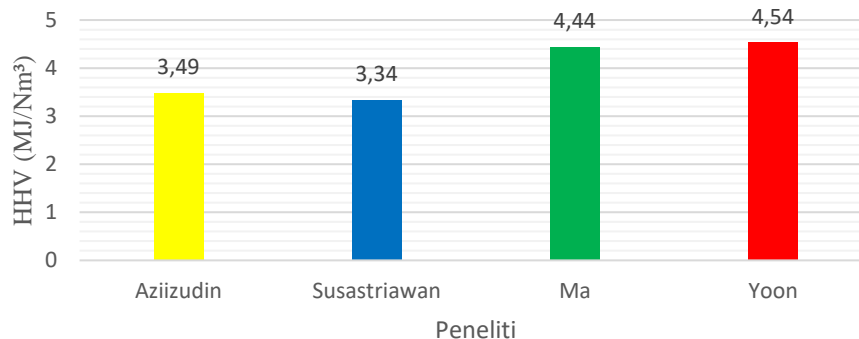


Gambar 5.13 Grafik HHV gasifikasi dengan penambahan *wet scrubber*

Pada gasifikasi sekam padi dengan penambahan *wet scrubber*, HHV_g tertinggi didapatkan pada varian WSH 2,5 lpm yaitu sebesar 3,49 MJ/Nm³ dengan hasil uji *gas chromatogram* sebagai berikut, CO 4,707%, CO₂ 10,830%, H₂ 17,386%, dan CH₄ 1,681%. Penyebab nilai HHV_g pada varian WSH 2,5 lpm ini tinggi karena kandungan nilai H₂, dan CH₄ yang tinggi. Tingginya fraksi H₂ dikarenakan banyaknya uap air yang keluar dari media *wet scrubber*, sehingga berdasarkan *water-gas shift reaction* maka terbentuklah H₂. Kemudian ada sebagian H₂ yang terpakai untuk membentuk CH₄ pada *methane reaction*. Pada varian WSK 2 lpm nilai HHV_g sangatlah rendah jika dibandingkan dengan varian lain, hal ini dikarenakan ada sebagian dari H₂, dan CH₄ yang terbakar dan menjadi CO₂.

Nilai HHV_g pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil dari penelitian (Susastriawan, 2018), namun lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian (Yoon, 2012) dan (Ma, 2015). Hal ini dikarenakan perbedaan nilai fraksi CH₄, CO, dan H₂ yang terkandung pada *producer gas*, semakin tinggi nilai fraksi tersebut maka HHV_g yang dihasilkan akan semakin tinggi. Selain itu juga kandungan nitrogen pada *producer gas* mempengaruhi nilai HHV_g , semakin banyak kandungan nitrogen pada *producer gas* maka nilai HHV_g yang dihasilkan akan semakin rendah (Susastriawan, 2018).

Gambar 5.14 di bawah ini merupakan grafik perbandingan nilai HHV_g penelitian ini dengan penelitian terdahulu.



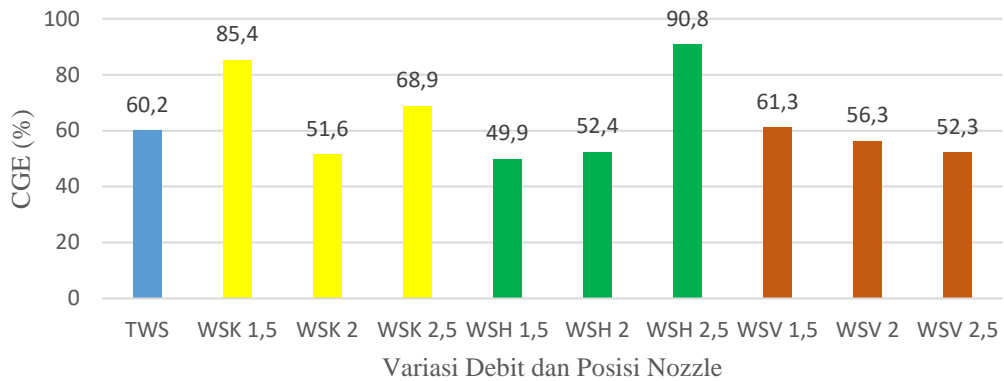
Gambar 5.14 Grafik perbandingan nilai HHV_g dengan penelitian terdahulu

Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan nilai HHV_g adalah *equivalence ratio* yang digunakan. Dengan meningkatnya nilai *equivalence ratio* maka kandungan N_2 yang masuk ke dalam *gasifier* meningkat, yang menyebabkan turunnya temperatur di dalam *gasifier*, dan turunnya nilai fraksi CO dan H_2 yang terkandung di dalam *producer gas* (Ma, 2015). Hal ini terjadi pada penelitian (Ma, 2015) dan (Yoon, 2012) yang menggunakan *equivalence ratio* 0,2. Selain itu juga, kandungan unsur karbon (C) pada *feedstock* sekam padi yang diperoleh dari analisis *proximate*, berpengaruh terhadap pembentukan fraksi CH_4 , CO, dan H_2 .

Sedangkan untuk nilai CGE tertinggi yaitu sebesar 90,8%, didapatkan pada varian WSH 2,5 dengan hasil uji *gas chromatogram*, CO 4,707%, CO_2 10,830%, H_2 17,386 %, dan CH_4 1,681%. Hasil ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian (Susastriawan, 2018), (Ma, 2015), dan (Yoon, 2012), hal ini dikarenakan perbedaan energi yang dihasilkan perkilogram *feedstock* (*gas yield*), dan HHV_f dari sekam padi.

Selain itu kemungkinan lain penyebab tinggi rendahnya nilai CGE adalah jumlah fraksi gas CO_2 , dan gas N_2 . Ketika kandungan N_2 pada *producer gas* rendah berarti kandungan O_2 yang dihasilkan tinggi, dan akan menyebabkan kandungan CO_2 menjadi tinggi. Reaksi seperti ini terjadi pada penelitian (Susastriawan, 2008), O_2 yang rendah akan membentuk CO, dan sebaliknya jika O_2 tinggi akan membentuk CO_2 . Untuk nilai CGE yang

dihasilkan secara keseluruhan pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 5.15 di bawah ini.



Gambar 5.15 Grafik CGE gasifikasi dengan penambahan *wet scrubber*

Dari Gambar 5.13 dan Gambar 5.15 di atas, dapat disimpulkan nilai HHV_g yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai CGE yang dihasilkan. Dan penyebab varian WSK 2 lpm memiliki nilai CGE yang rendah sama dengan penyebab varian WSK 2 lpm memiliki nilai HHV_g yang rendah, yaitu dikarenakan ada sebagian dari H_2 , dan CH_4 yang terbakar dan menjadi CO_2 . Hal ini menunjukkan, semakin besar nilai HHV_g maka proses gasifikasi akan semakin efektif. Selain itu, *gas yield* yang semakin tinggi akan mengakibatkan semakin banyak *producer gas* yang dihasilkan tiap kilogram *feedstock* atau dapat dikatakan gasifikasi menjadi semakin efektif (Susastriawan, 2008).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian studi eksperimen pengaruh debit air pada *wet scrubber* terhadap kandungan tar pada *gasifier downdraft* yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *wet scrubber* berpengaruh terhadap karakteristik *producer gas*. Hal ini dikarenakan terjadinya kontak antara media *wet scrubber* dengan *producer gas* yang mengakibatkan terjadinya penurunan temperatur *producer gas*. Kandungan gas H₂ dan CH₄ akan berdampak pada tinggi rendahnya nilai HHV_g, dengan meningkatnya kandungan H₂ dan CH₄, maka HHV_g semakin tinggi. Dengan semakin bertambahnya kandungan gas O₂ pada udara yang masuk, maka akan mengakibatkan bertambahnya kandungan CO₂ di *producer gas*, sehingga dapat menurunkan CGE. Untuk masing-masing nilai HHV_g dan CGE tertinggi diperoleh pada varian WSH 2,5 lpm yaitu sebesar 3,49 MJ/Nm³ dan 90,8 %
2. *Wet scrubber* berpengaruh terhadap kandungan tar yang dihasilkan, hal ini dikarenakan media *wet scrubber* dapat menangkap partikel-partikel residu dan tar yang terdapat pada *producer gas*, sehingga kualitas *producer gas* lebih bersih jika dibandingkan dengan proses gasifikasi yang tidak ada penambahan *wet scrubber*. Kandungan tar paling sedikit diperoleh pada varian WSK 2,5 lpm dengan kandungan tar sebesar 1,20 g/Nm³, jumlah ini lebih sedikit jika dibandingkan dengan gasifikasi tanpa *wet scrubber*. Penambahan *wet scrubber* dapat mengurangi kandungan tar sebanyak 6,5% - 40%.

6.2 Saran

1. Untuk kedepannya, alangkah baiknya *treatment* pada *feedstock* menggunakan alat, seperti oven atau alat pengering, agar kondisi *feedstock* pada setiap varian lebih merata.
2. Untuk kedepannya penelitian ini dapat dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan metode simulasi, ataupun metode lainnya.

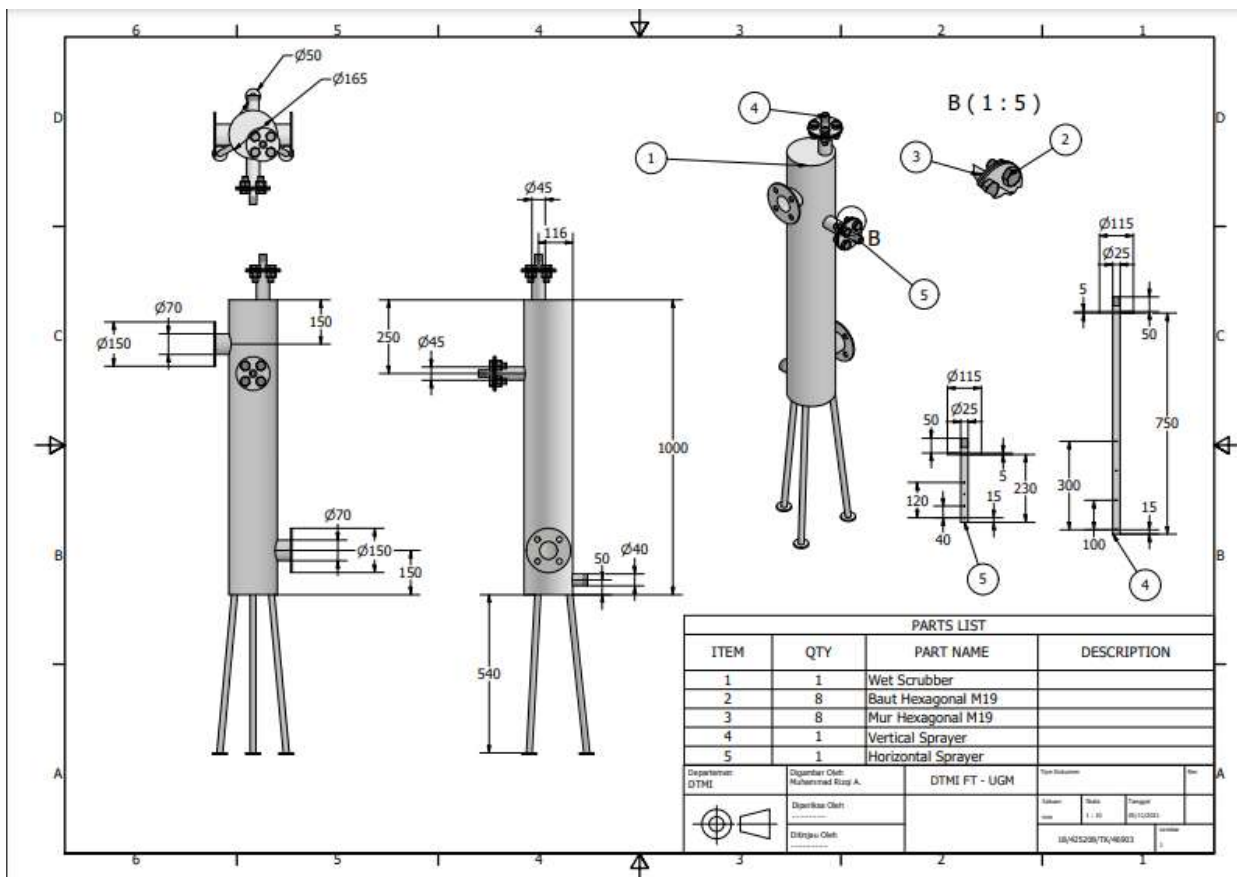
DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2009, *Rice Knowledge Bank*, International Rice Research Institute.
- Badan Pusat Statistik., 2021, *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2020*, Badan Pusat Statistik, no. 22/03, Jakarta.
- Basu, P., 2010, *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*, Elsevier Inc.
- Devi, L., 2003, A Review of The Primary Measures for Tar Elimination in Biomass Gasification Processes. *Biomass and Bioenergy*, pp. 125–140.
- Haryadi., 2006, *Teknologi Pengolahan Beras*, 1st ed., Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hernández, J.J., Aranda-Almansa, G. & Bula, A., 2010. Gasification of biomass wastes in an entrained flow *gasifier*: Effect of the particle size and the residence time. *Fuel Processing Technology*, 91(6), pp.681–692.
- Illminafik, N., A.O, Frenico., 2016, Karakteristik Api Producer gas pada Gasifikasi Downdraft dengan Bahan Biomassa Sekam Padi, *Rotor*, vol. 9, no. 1.
- Ismunadji, M., 1988, Padi, *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, Buku I, Edisi I.
- Jackson, M.G., 1977., Review Article: The Alkali Treatment of Straws, *Animal Feed Science and Technol*, vol. 2, no. 2, pp. 105-130.
- Joseph, T. Gerald., 1984. Wet Scrubber Plan Review : Self-Instructional Guidebook.
- Kaupp, A. & Goss, J.R., 1981. State of the art report for small scale (to 50 kW) gas producer. *Engine Systems*, pp. 286.
- Lotfi, S., Ma, Weiguo., Austin, K., Kumar, A., 2019, A Wet Packed Bed Scrubber for Removing Tar from Biomass Producer Gas, *Fuel Processing Technology*, pp. 197-203.
- Ma, Z., Ye, J., Zhao, C., Zhang, Q., 2015, Gasification of Rice Husk in a Downdraft *Gasifier*: The Effect of Equivalence Ratio on The Gasification Performance, Properties, and Utilization Analysis of Byproducts of Char and Tar, *BioResources*, vol. 10. no. 2, pp. 2888-2902.
- Machin, E.B. et al., 2015. Tar Reduction in Downdraft Biomass Gasifier using a Primary Method. *Renewable Energy*, 78, pp. 478-483.
- Nakamura, S., Kitano, S., Yosikawa, K., 2016, Biomass Gasification Process With The Tar Removal Technologies Utilizing Bio-Oil Scrubber and Char Bed, *Applied Energy*, pp. 186-192.
- Perpres Nomor 22 Tahun 2017, Lampiran 1 Perpres Nomor 22 Tahun 2017, Hal. 20.
- Prasad, L., Subbarao, P.M.V., Subrahmanyam, J.P., 2015, Experimental Investigation on Gasification Characteristic of High Lignin Biomass (Pongamia Shells), *Renewable Energy*, vol. 80, pp. 415-423.

- Phuphuakrat, T., Namioka, T., Yoshikawa, K., 2011, Absorptive Removal of Biomass Tar Using Water and Oily Materials, *Bioresource Technology*, pp. 543-549.
- Son, Y. *et al.*, 2011. Gasification and Power Generation Characteristics of Woody Biomass Utilizing a Downdraft *Gasifier*. *Biomass and Bioenergy*, pp.4215–4220.
- Susastriawan, A.A.P., Saptoadi, H., Purnomo., 2018, Comparison of The Gasification Performance in The Downdraft Fixed-Bed *gasifier* Fed By Different Feedstocks: Rice Husk, Sawdust, And Their Mixture, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 34, pp. 27–34.
- Monir, M.U., A.A, Azrina., A.K, Rizky., Yousuf, A., 2018, Gasification of Lignocellulosic Biomass to Produce Producer gas in A 50 Kw Downdraft Reactor, *Biomass and Bioenergy*, pp. 335-345.
- Yoon, S.J. *et al.*, 2012. Gasification and power generation characteristics of rice husk and rice husk pellet using a downdraft fixed-bed *gasifier*. *Renewable Energy*, 42, pp.163–167.
- Zubair, A., R.S, Mahendra., Muchtar, A., A.S, Saharin., R.W.D, Wan., 2019, Effect of Particle Size and Temperatur on Gasification Performance of Coconut and Palm Kernel Shells in Downdraft Fifixed-Bed Reactor, *Energy*, pp. 931-940.
- Zubair, A., R.S, Mahendra., Muchtar, A., A.S, Saharin., R.W.D, Wan., 2020, Effects of Temperatur on The Chemical Composition of Tars Produced from The Gasification of Coconut and Palm Kernel Shells Using Downdraft Fixed-Bed Reactor, *Fuel*, pp. 116910.

LAMPIRAN

GAMBAR TEKNIK WET SCRUBBER



HASIL UJI PROXIMATE DAN ULTIMATE



Laboratorium Pengujian tekMIRA
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung - 40211
 Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab_uji@tekMIRA.esdm.go.id

F 413.3

SERTIFIKAT ANALISIS (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

Nomor / Number : 0304/LBB/IV/2017

Tanggal / Date : 17 April 2017

Dibuat untuk / Certified for : Anak Agung Putu Susastriawan
 Jenis contoh / Type of Sample : Sekam Padi dan Serbuk Kayu
 Sifat / Kondisi Barang yang diuji / Description of sample : -
 Asal contoh / Origin of sample : -
 Jumlah contoh / Amount of sample : 2 (dua)
 Nomor Laboratorium / Laboratory Number : 1283-1284/2017
 Contoh diterima tanggal / Sample received on : 07 April 2017
 Waktu pelaksanaan pengujian / Date of testing : 07 April 2017

HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULT :

ANALYSIS PARAMETERS	Sample Marks		Unit	Basis
	1283/17 Sekam Padi	1284/17 Serbuk Kayu		
PROXIMATE :				
MOISTURE IN AIR DRIED	9,80	13,26	%	adb
ASH	21,17	1,97	%	adb
VOLATILE MATTER	56,20	71,48	%	adb
FIXED CARBON	12,83	13,29	%	adb
ULTIMATE :				
TOTAL SULFUR	0,12	0,74	%	adb
CARBON	34,05	44,99	%	adb
HYDROGEN	5,35	6,68	%	adb
NITROGEN	0,17	*	%	adb
OXYGEN	39,14	45,62	%	adb
GROSS CALORIFIC VALUE	3.201	4.201	cal/g	adb

Keterangan : * = tidak terdeteksi

Manajer Teknis
 Lab Batubara,

 Manik Widhi Astiti, S.Si
 NIP. 19740408 199403 2905

Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji

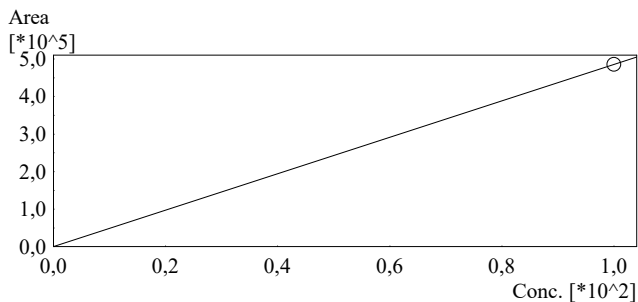
Notes The analysis result are valid only for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis

The certificate cannot be reproduced without a written permission from the Technical Manager

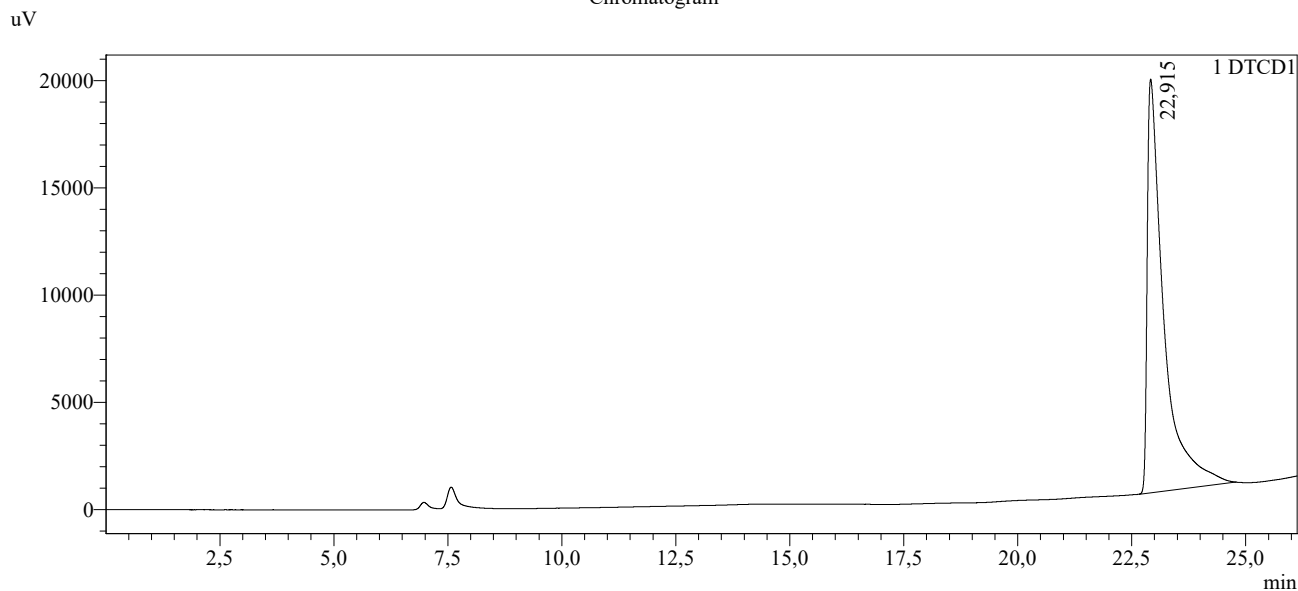
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

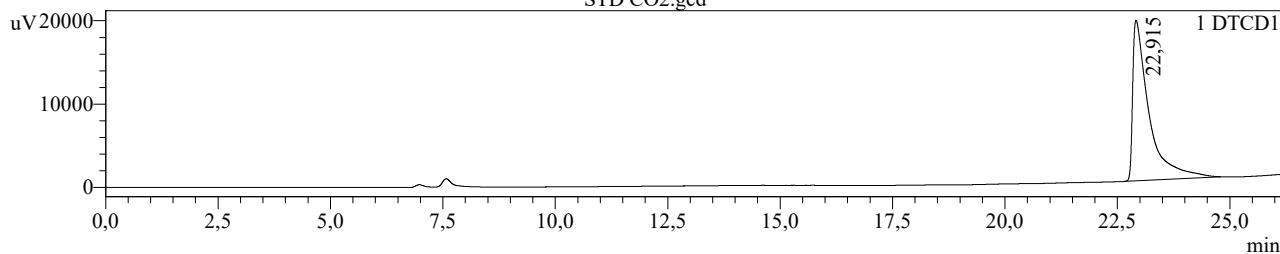


#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

Chromatogram



Summary(Compound)
STD CO2.gcd



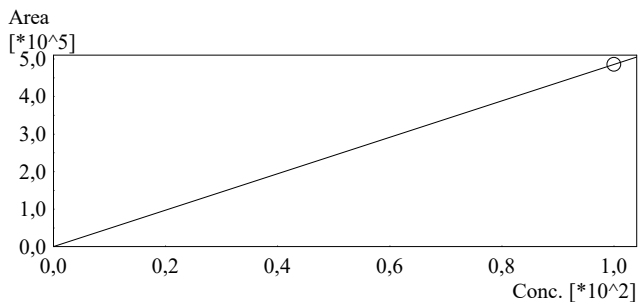
<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
STD CO2.gcd	STD CO2	CO2	22,915	485614	19279	99,980
Average			22,915	485614	19279	99,980
%RSD			0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum			22,915	485614	19279	99,980
Minimum			22,915	485614	19279	99,980
Standard Deviation			0,000	0	0	0,000

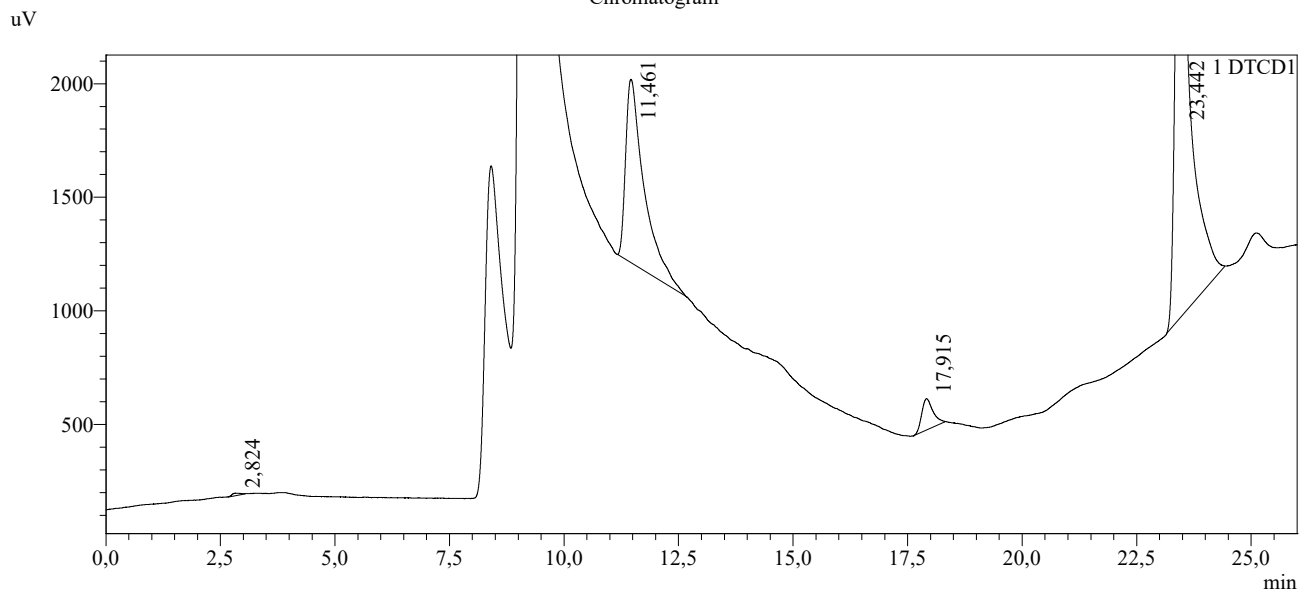
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

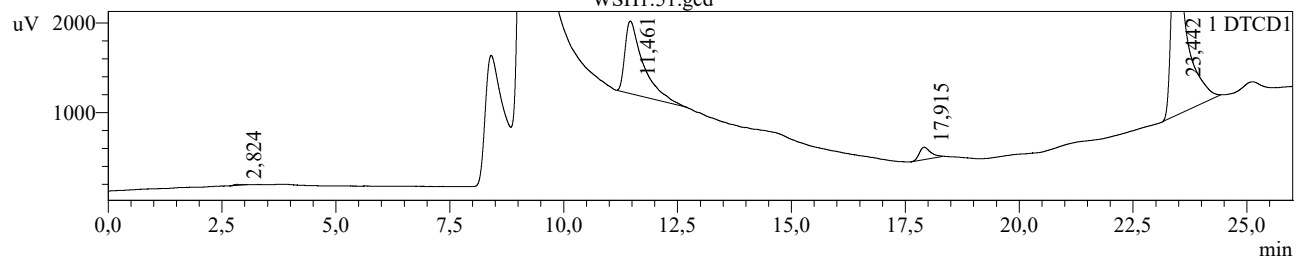


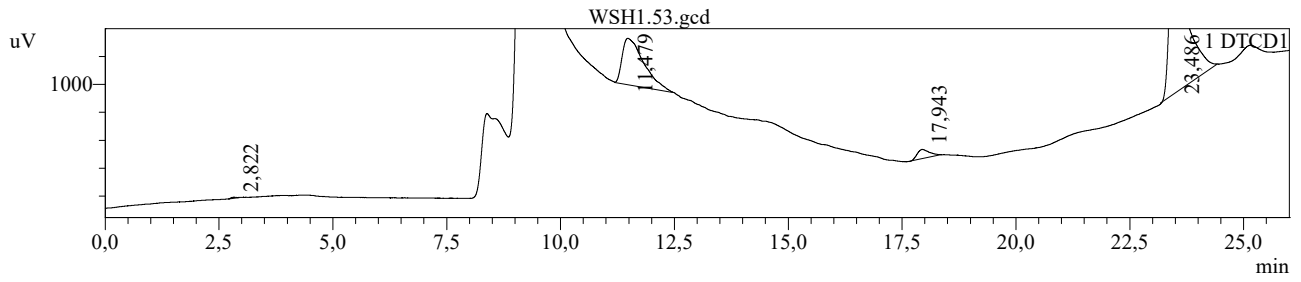
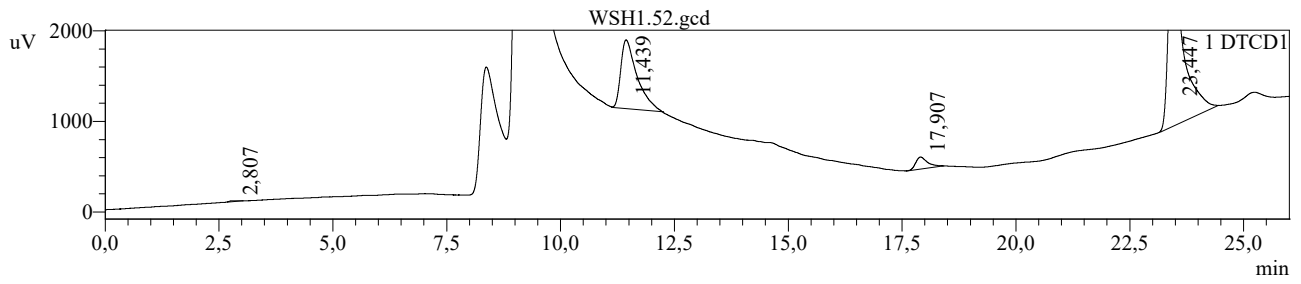
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

Chromatogram



Summary(Compound) WSH1.51.gcd





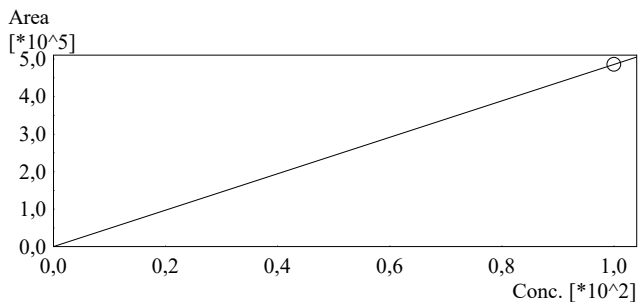
<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH1.51.gcd	Aziz	WSH1.51	23,442	50849	2405	10,469
WSH1.52.gcd	Aziz	WSH1.52	23,447	47377	2288	9,754
WSH1.53.gcd	Aziz	WSH1.53	23,486	31193	1380	6,422
Average			23,459	43139	2024	8,882
%RSD			0,101	24,318	27,718	24,318
Maximum			23,486	50849	2405	10,469
Minimum			23,442	31193	1380	6,422
Standard Deviation			0,024	10491	561	2,160

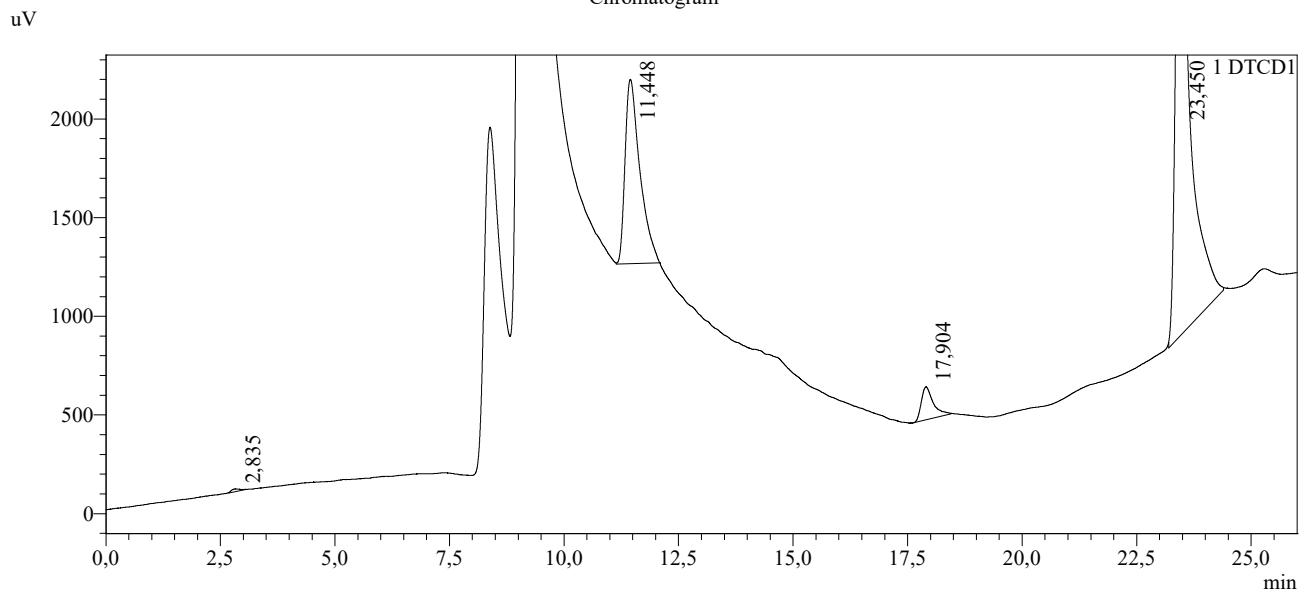
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

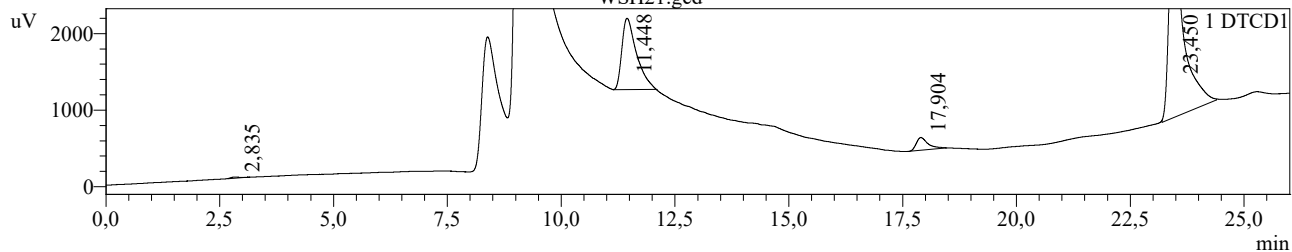


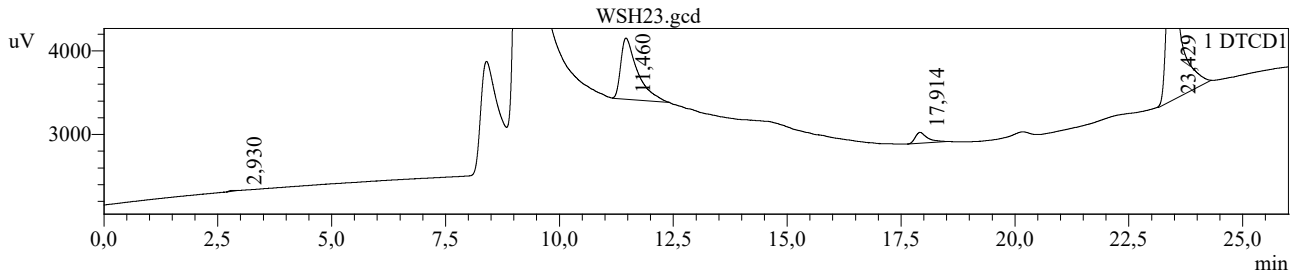
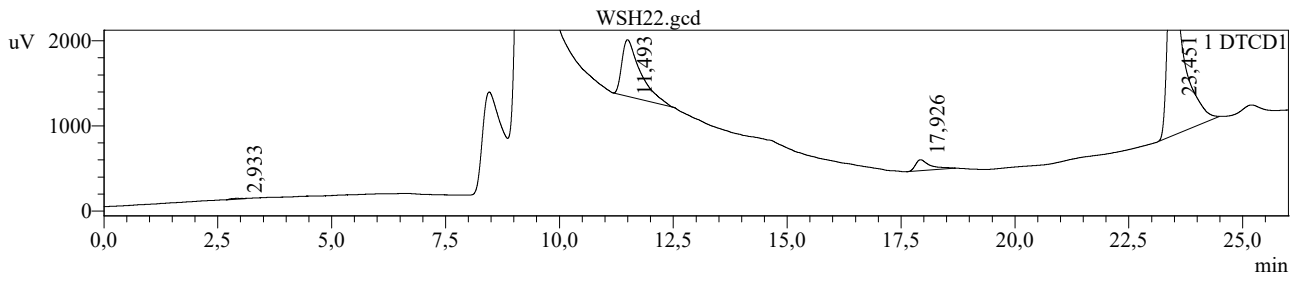
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

Chromatogram



Summary(Compound) WSH21.gcd





<< DTCD1 >>

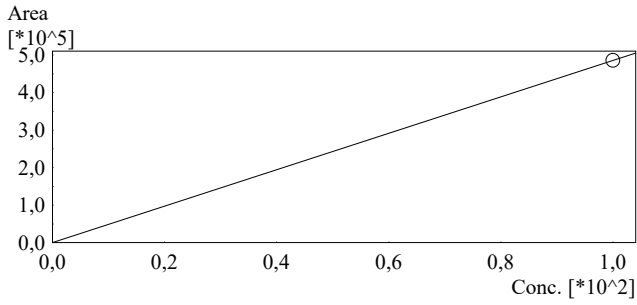
ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH21.gcd	Aziz	WSH21	23,450	59385	2935	12,226
WSH22.gcd	Aziz	WSH22	23,451	54470	2439	11,215
WSH23.gcd	Aziz	WSH23	23,429	41536	2127	8,552
Average			23,443	51797	2500	10,664
%RSD			0,053	17,800	16,304	17,800
Maximum			23,451	59385	2935	12,226
Minimum			23,429	41536	2127	8,552
Standard Deviation			0,012	9220	408	1,898

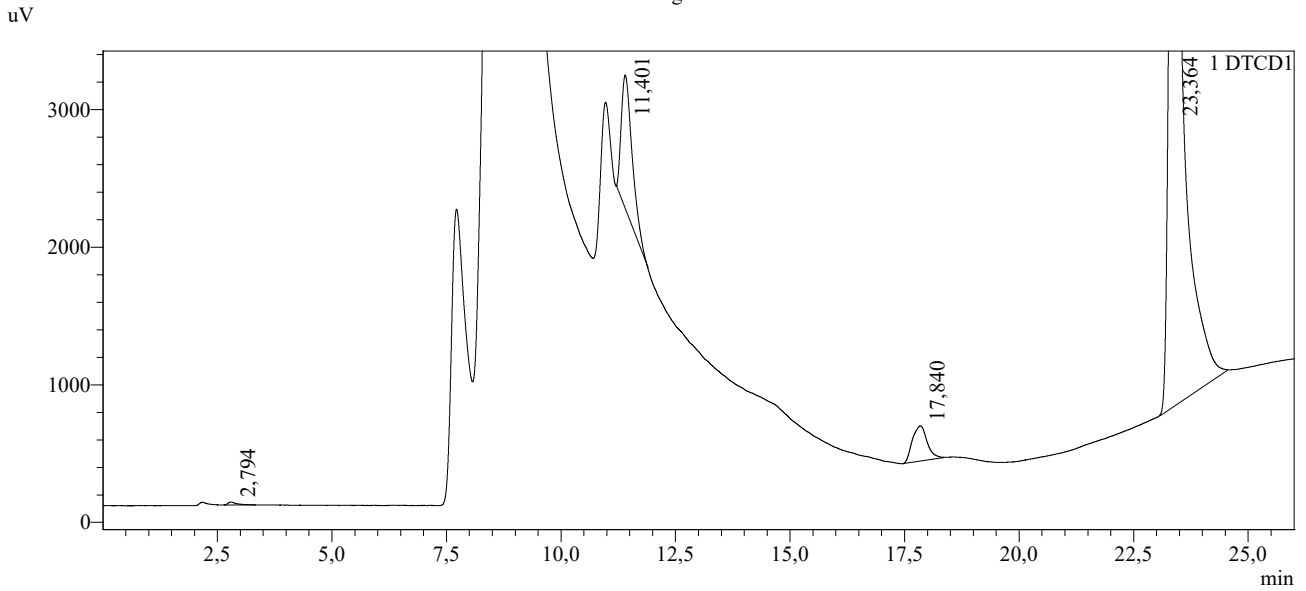
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

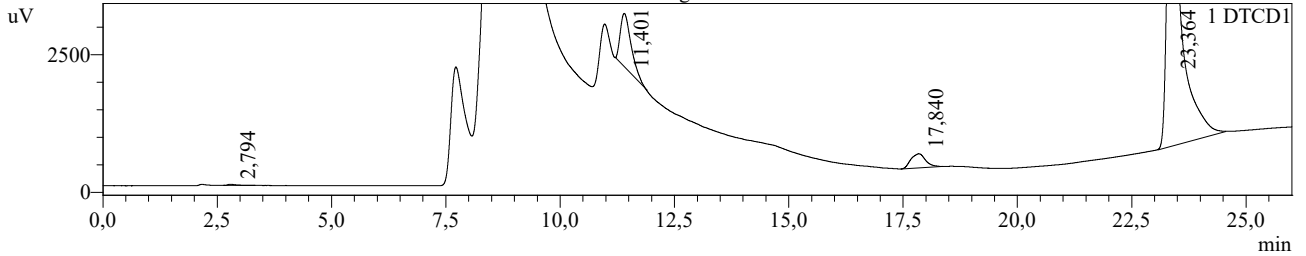
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

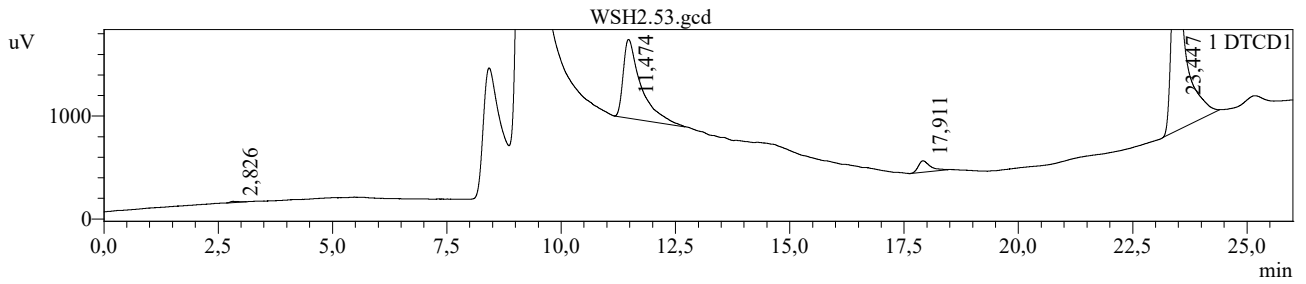
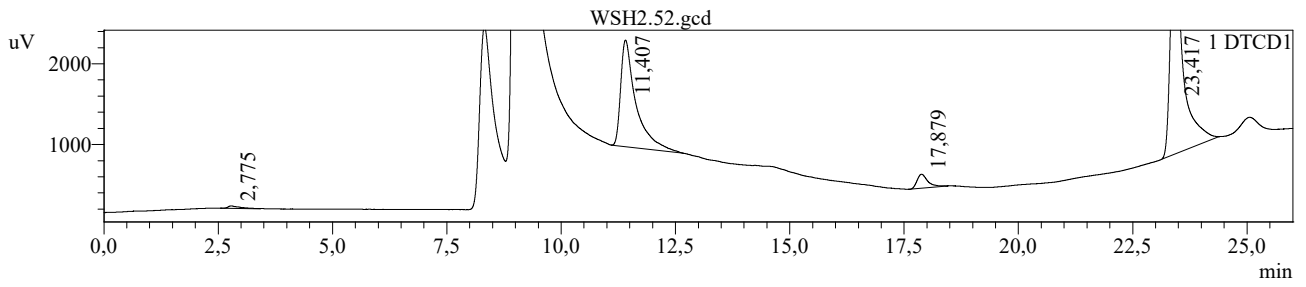


Chromatogram



Summary(Compound)
 WSH2.51.gcd





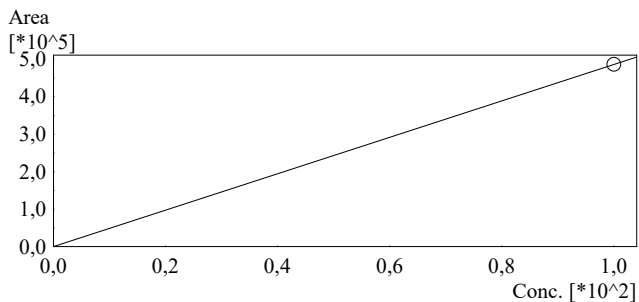
<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH2.51.gcd	Aziz	WSH2.51	23,364	123479	6096	25,422
WSH2.52.gcd	Aziz	WSH2.52	23,417	52602	2889	10,830
WSH2.53.gcd	Aziz	WSH2.53	23,447	41000	2055	8,441
Average			23,410	72360	3680	14,898
%RSD			0,179	61,702	57,974	61,702
Maximum			23,447	123479	6096	25,422
Minimum			23,364	41000	2055	8,441
Standard Deviation			0,042	44648	2133	9,192

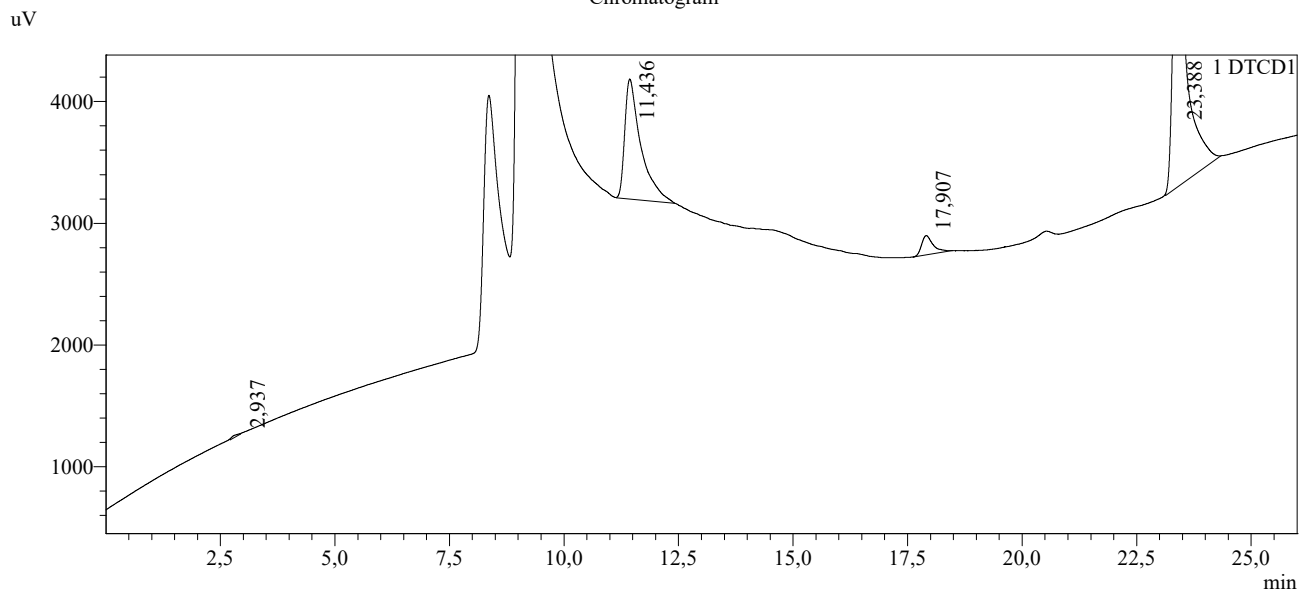
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

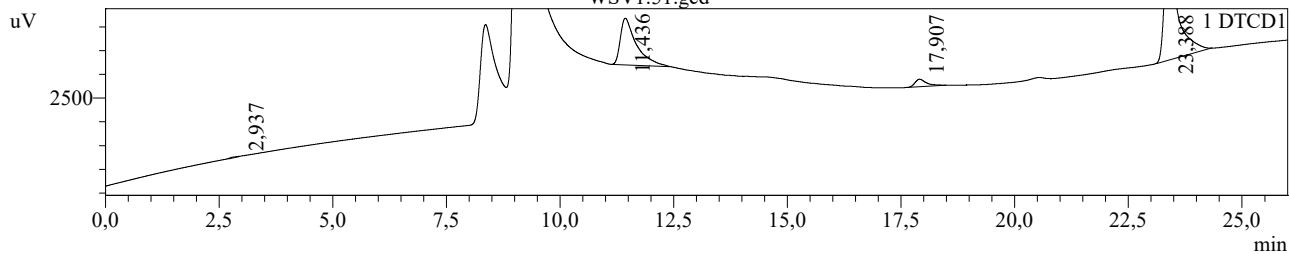


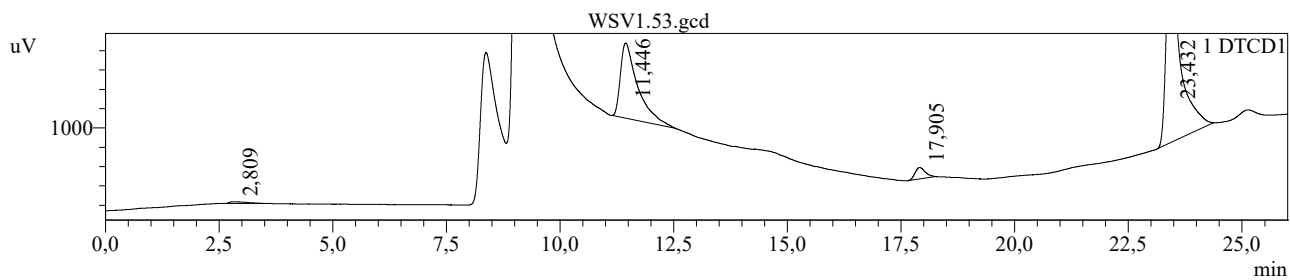
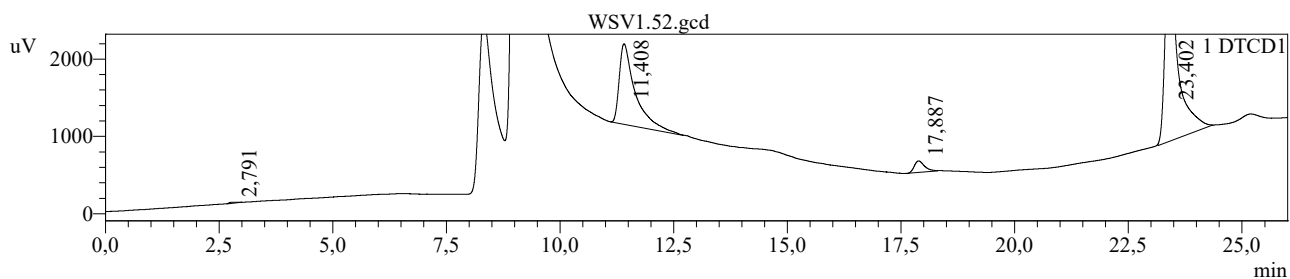
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

Chromatogram



Summary(Compound) WSV1.51.gcd





<< DTCD1 >>

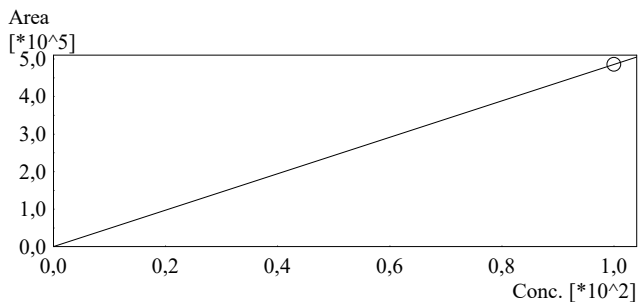
ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV1.51.gcd	Aziz	WSV1.51	23,388	50666	2629	10,431
WSV1.52.gcd	Aziz	WSV1.52	23,402	48505	2591	9,986
WSV1.53.gcd	Aziz	WSV1.53	23,432	44480	2245	9,158
Average			23,407	47883	2488	9,858
%RSD			0,097	6,556	8,517	6,556
Maximum			23,432	50666	2629	10,431
Minimum			23,388	44480	2245	9,158
Standard Deviation			0,023	3139	212	0,646

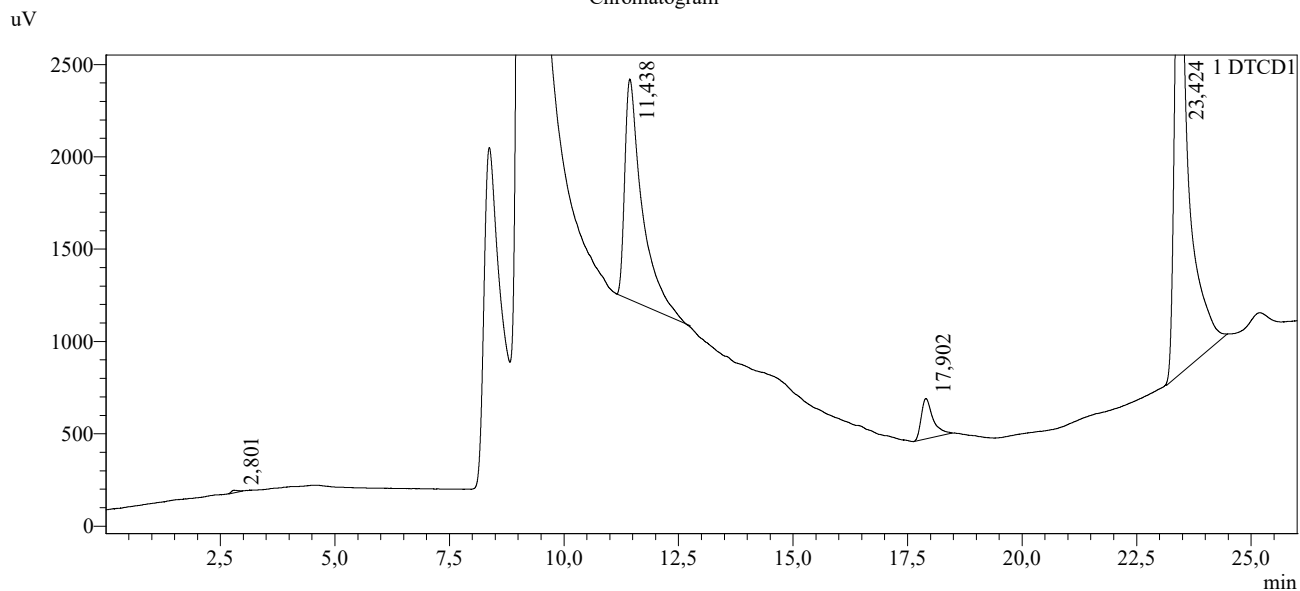
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

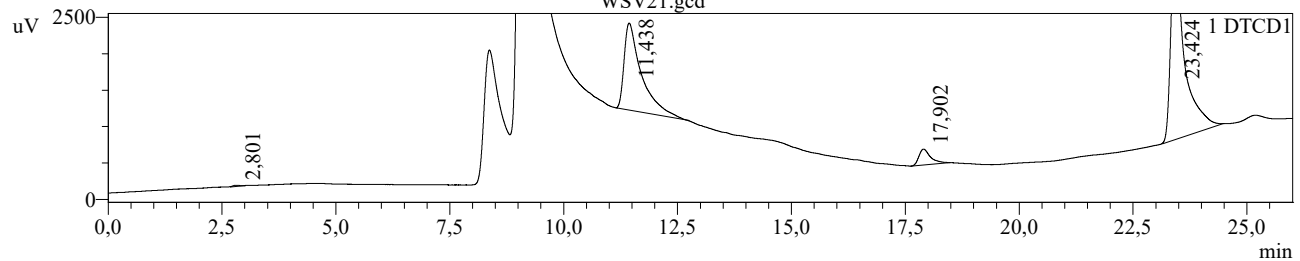
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

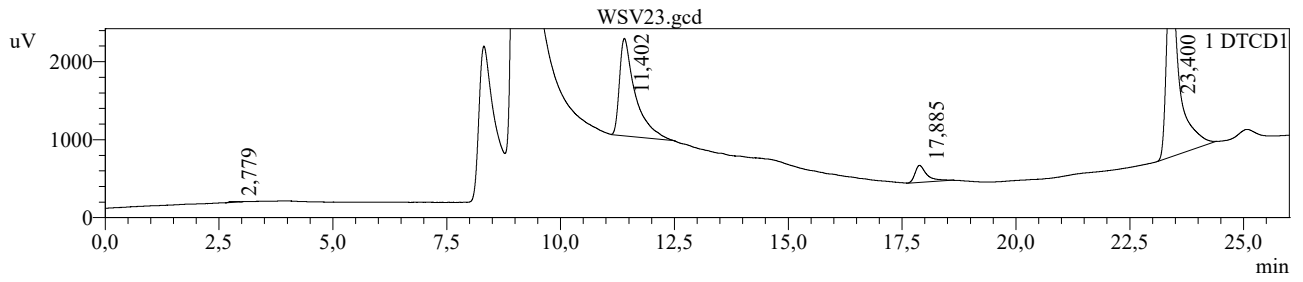
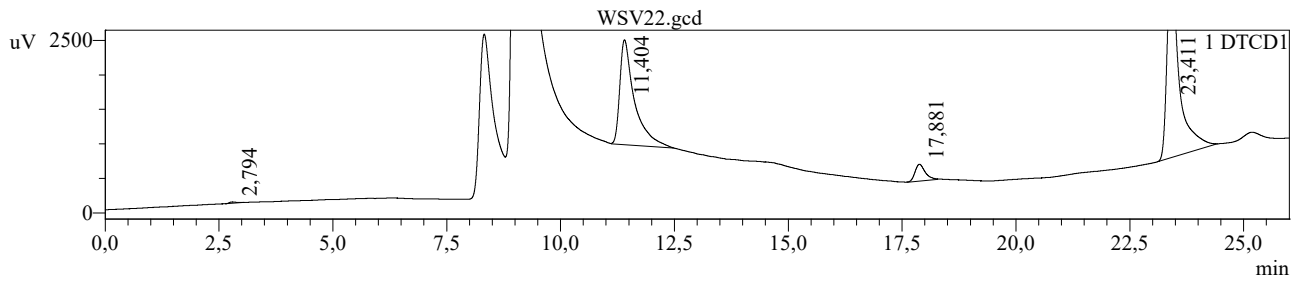


Chromatogram



Summary(Compound) WSV21.gcd





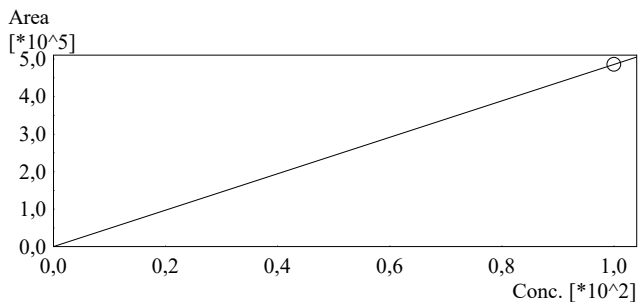
<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV21.gcd	Aziz	WSV21	23,424	56337	2784	11,599
WSV22.gcd	Aziz	WSV22	23,411	52034	2871	10,713
WSV23.gcd	Aziz	WSV23	23,400	48580	2597	10,002
Average			23,412	52317	2751	10,771
%RSD			0,052	7,428	5,085	7,428
Maximum			23,424	56337	2871	11,599
Minimum			23,400	48580	2597	10,002
Standard Deviation			0,012	3886	140	0,800

Calibration Curve

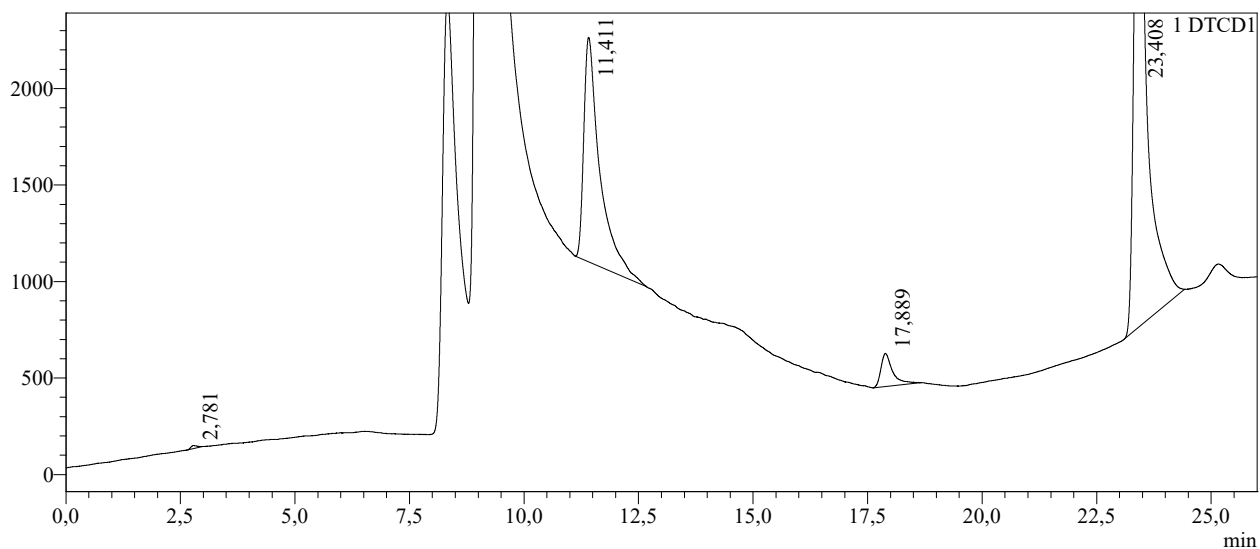
ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1



#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

Chromatogram

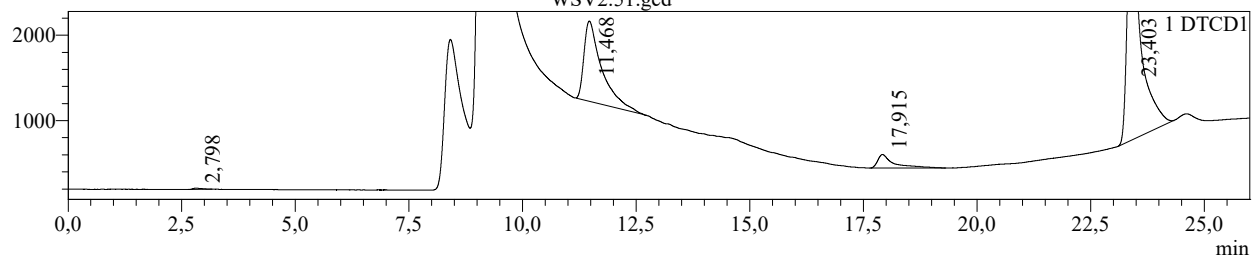
uV

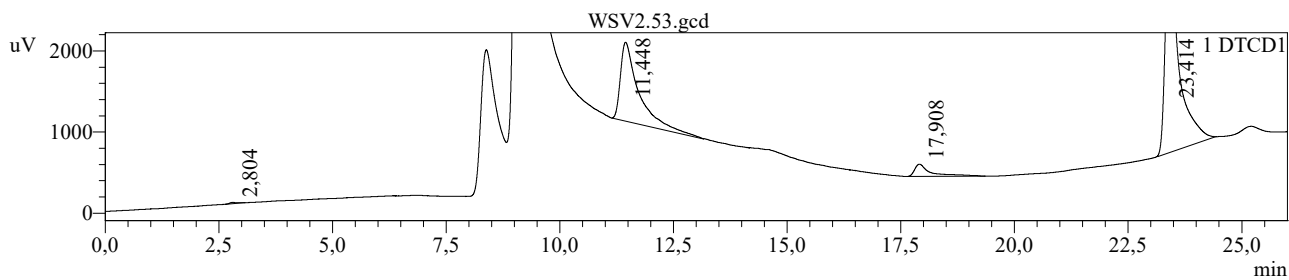
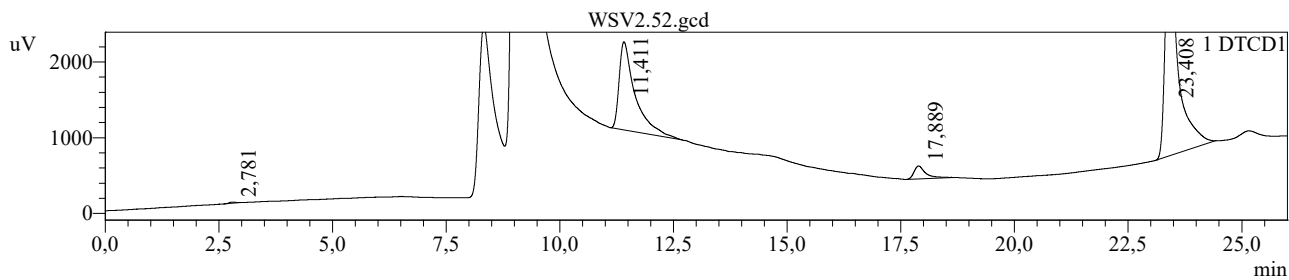


Summary(Compound)

WSV2.51.gcd

uV





<< DTCD1 >>

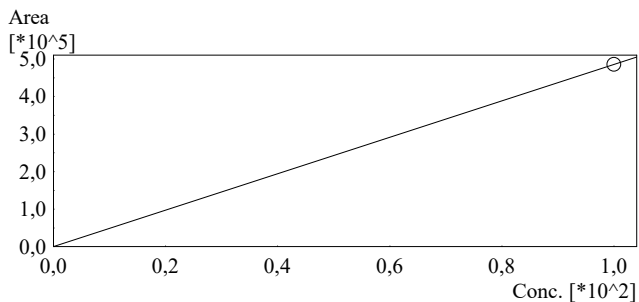
ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV2.51.gcd	Aziz	WSV2.51	23,403	56998	2919	11,735
WSV2.52.gcd	Aziz	WSV2.52	23,408	57773	3081	11,895
WSV2.53.gcd	Aziz	WSV2.53	23,414	55419	2815	11,410
Average			23,408	56730	2938	11,680
%RSD			0,023	2,115	4,559	2,115
Maximum			23,414	57773	3081	11,895
Minimum			23,403	55419	2815	11,410
Standard Deviation			0,005	1200	134	0,247

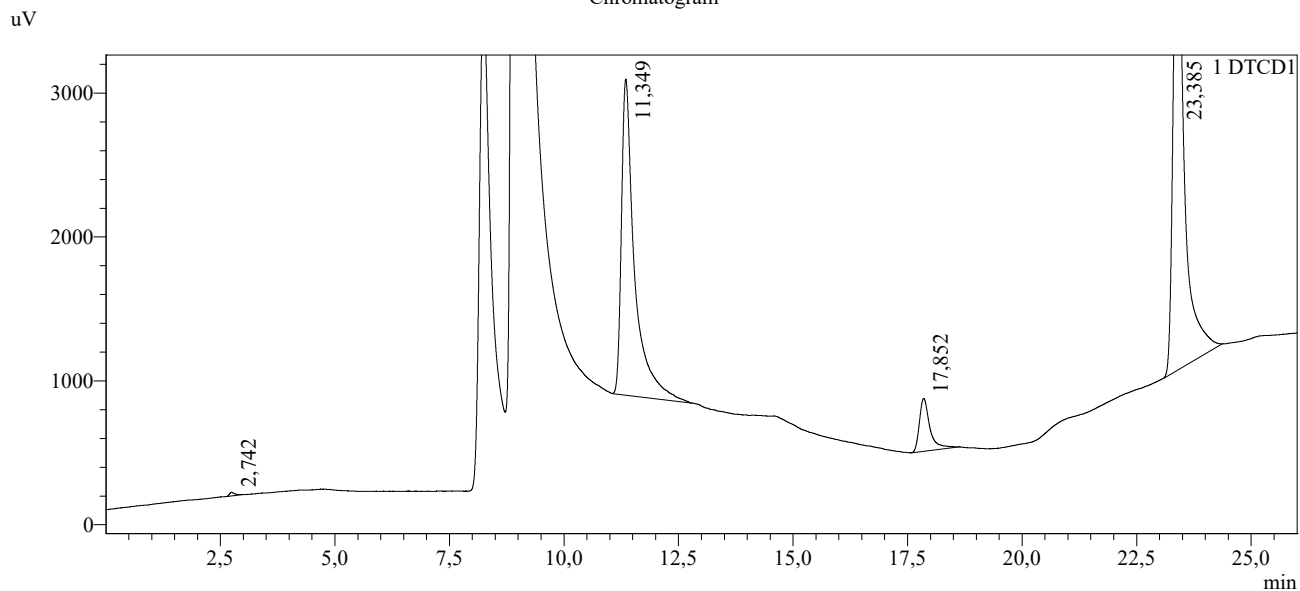
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

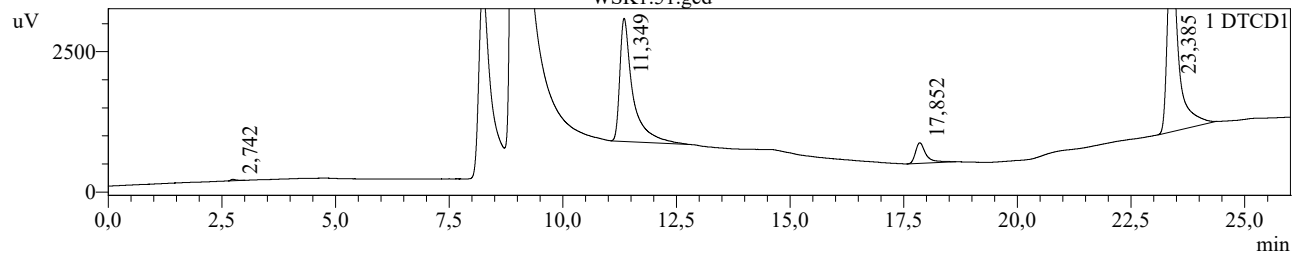
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

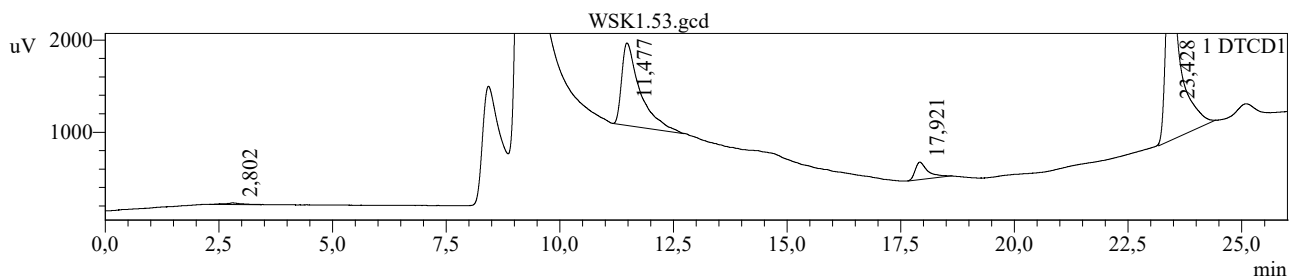
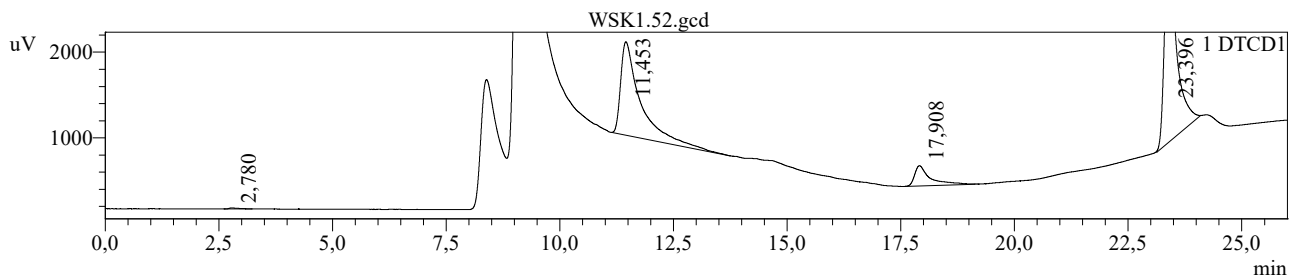


Chromatogram



Summary(Compound) WSK1.51.gcd





<< DTCD1 >>

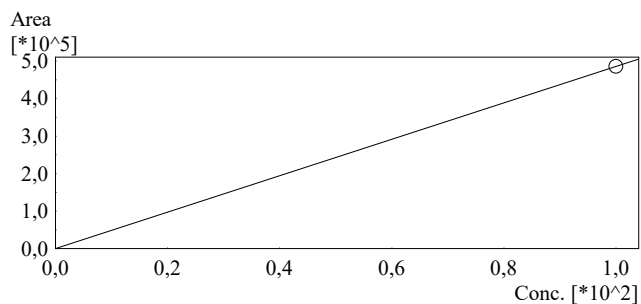
ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK1.51.gcd	Aziz	WSK1.51	23,385	57660	3465	11,871
WSK1.52.gcd	Aziz	WSK1.52	23,396	43267	2443	8,908
WSK1.53.gcd	Aziz	WSK1.53	23,428	45416	2199	9,350
Average			23,403	48781	2702	10,043
%RSD			0,095	15,916	24,851	15,916
Maximum			23,428	57660	3465	11,871
Minimum			23,385	43267	2199	8,908
Standard Deviation			0,022	7764	672	1,599

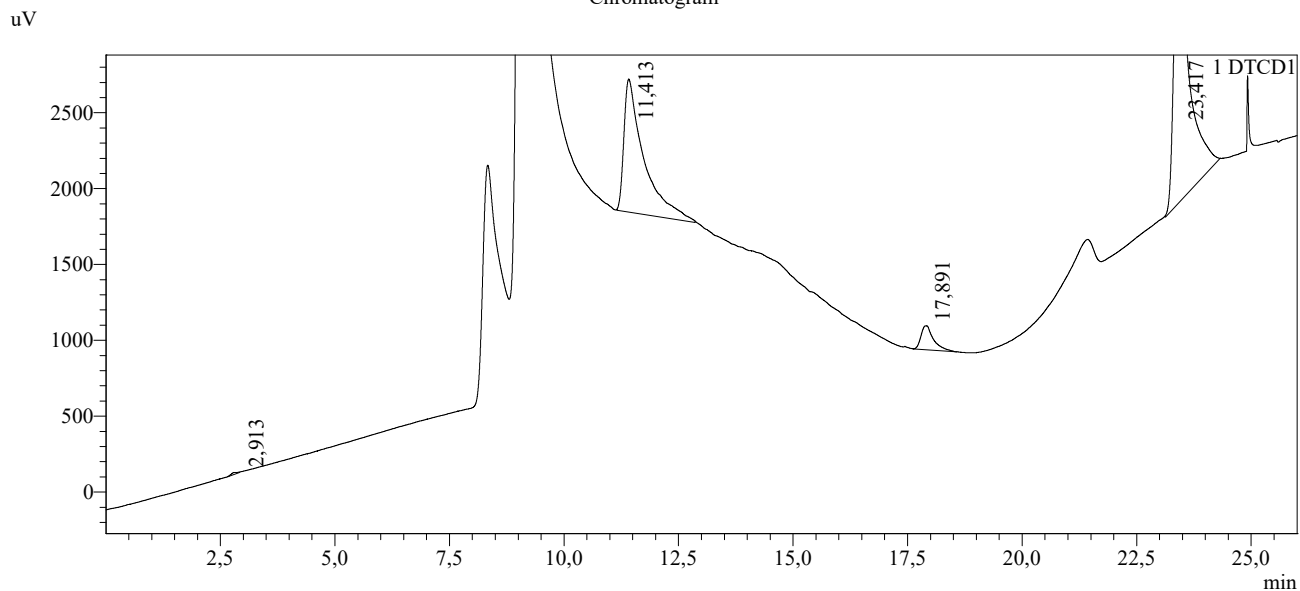
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

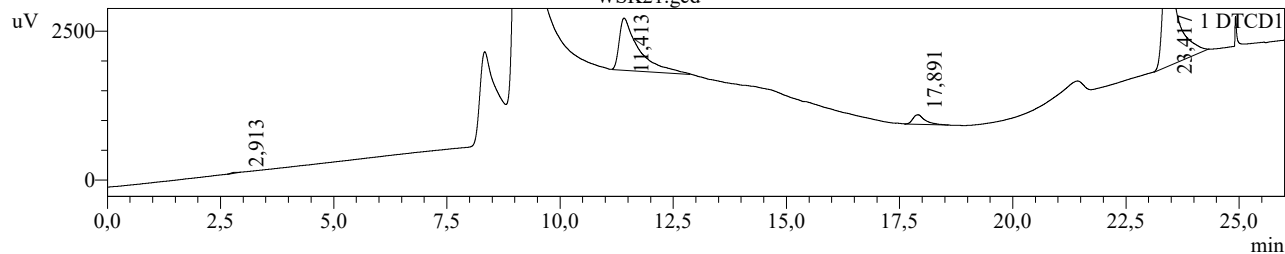
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

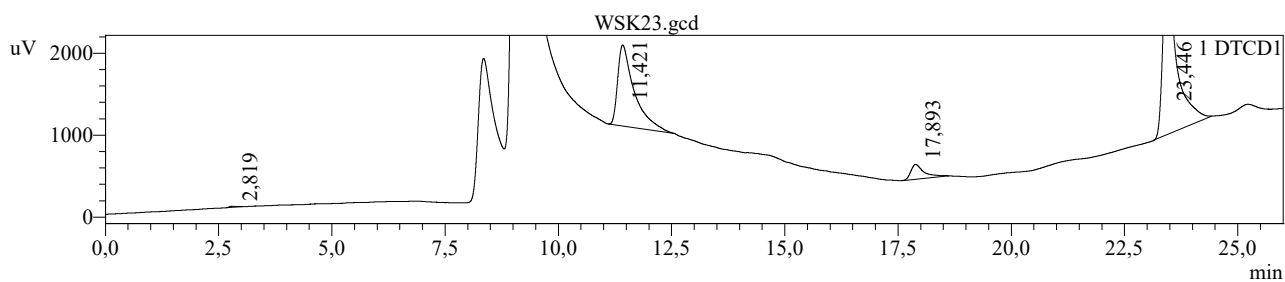
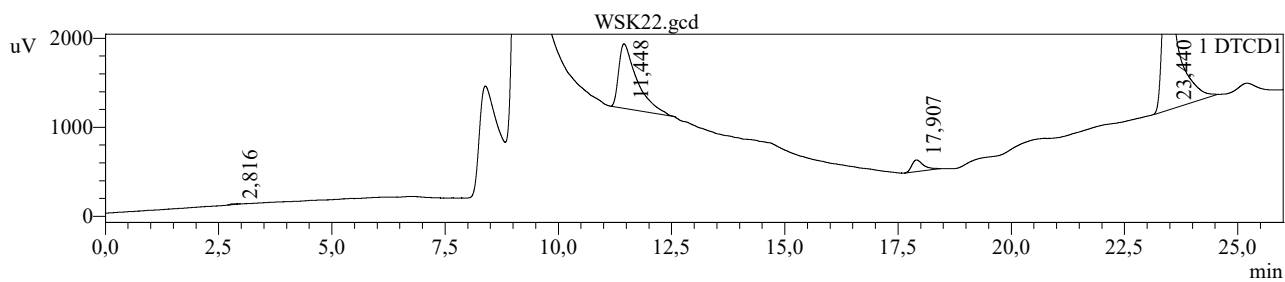


Chromatogram



Summary(Compound) WSK21.gcd





<< DTCD1 >>

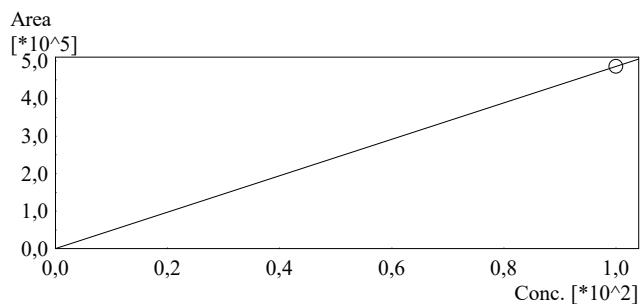
ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK21.gcd	Aziz	WSK21	23,417	44288	2139	9,118
WSK22.gcd	Aziz	WSK22	23,440	42367	1956	8,723
WSK23.gcd	Aziz	WSK23	23,446	44695	2237	9,202
Average			23,434	43783	2111	9,014
%RSD			0,066	2,840	6,773	2,840
Maximum			23,446	44695	2237	9,202
Minimum			23,417	42367	1956	8,723
Standard Deviation			0,016	1243	143	0,256

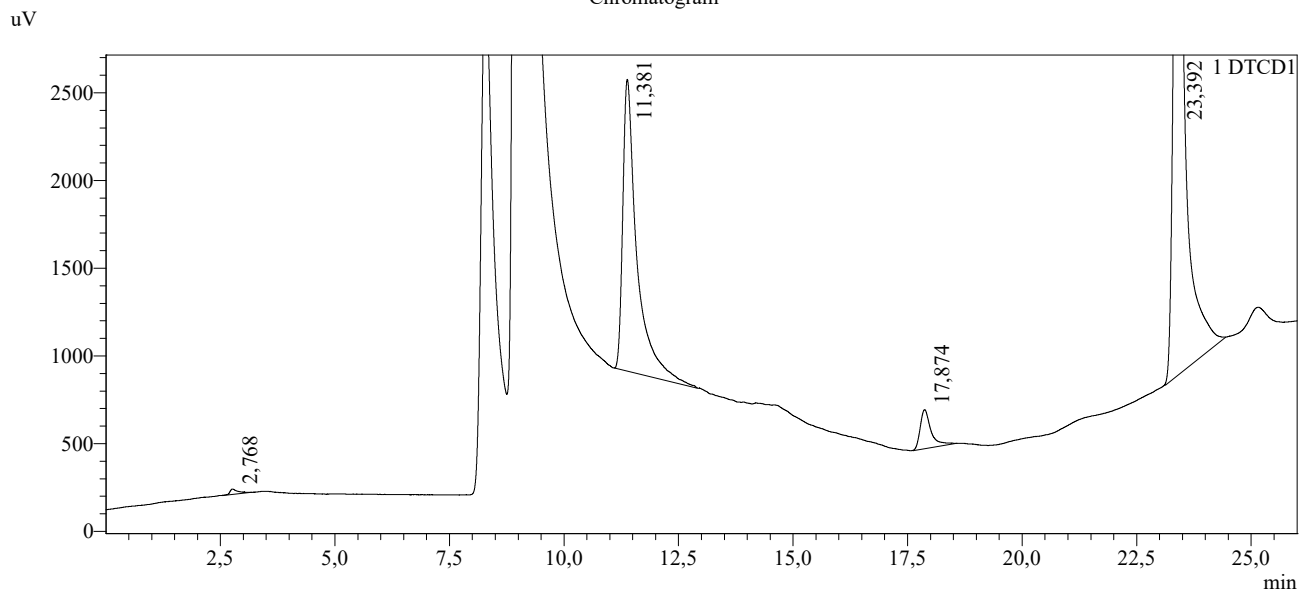
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Dioxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=4857,11*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=3,388132e-021
 MeanRF: 4,857113e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

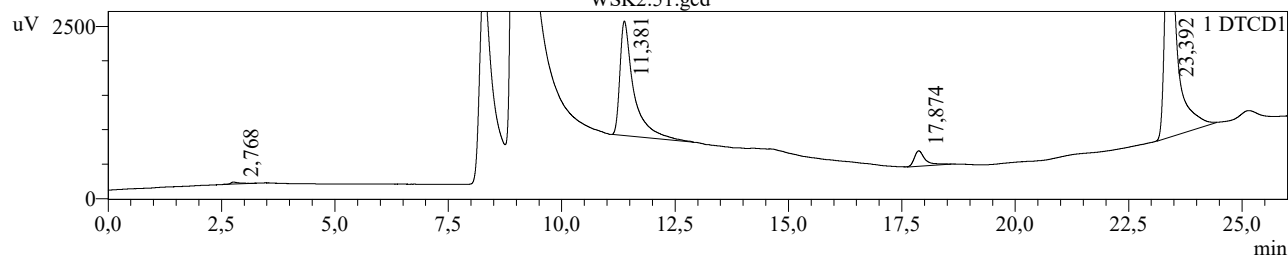
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	485614	485614

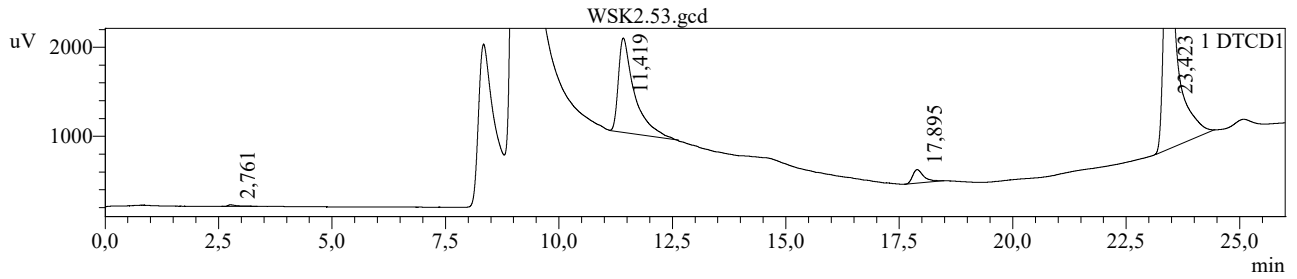
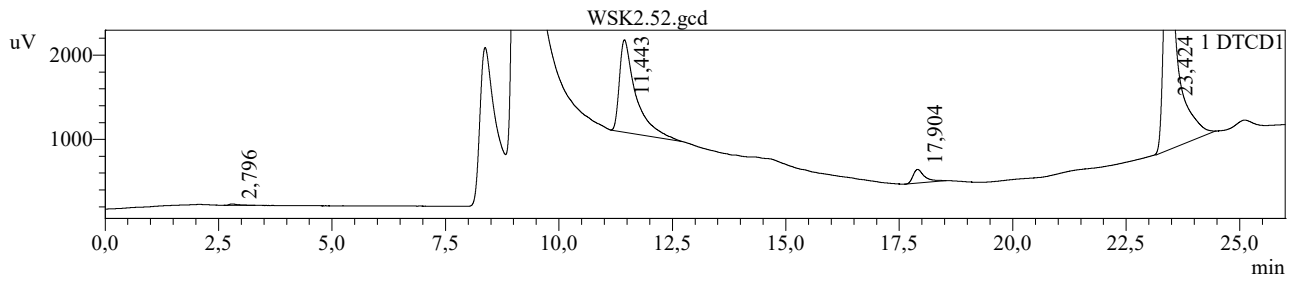


Chromatogram



Summary(Compound) WSK2.51.gcd





<< DTCD1 >>

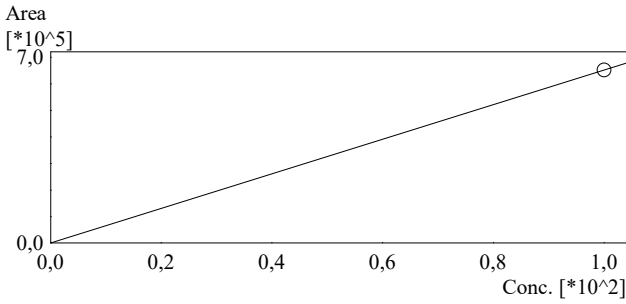
ID#1 Compound Name: Carbon Dioxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK2.51.gcd	Aziz	WSK2.51	23,392	64201	3713	13,218
WSK2.52.gcd	Aziz	WSK2.52	23,424	59749	3097	12,301
WSK2.53.gcd	Aziz	WSK2.53	23,423	56348	2939	11,601
Average			23,413	60100	3250	12,374
%RSD			0,079	6,553	12,582	6,553
Maximum			23,424	64201	3713	13,218
Minimum			23,392	56348	2939	11,601
Standard Deviation			0,018	3938	409	0,811

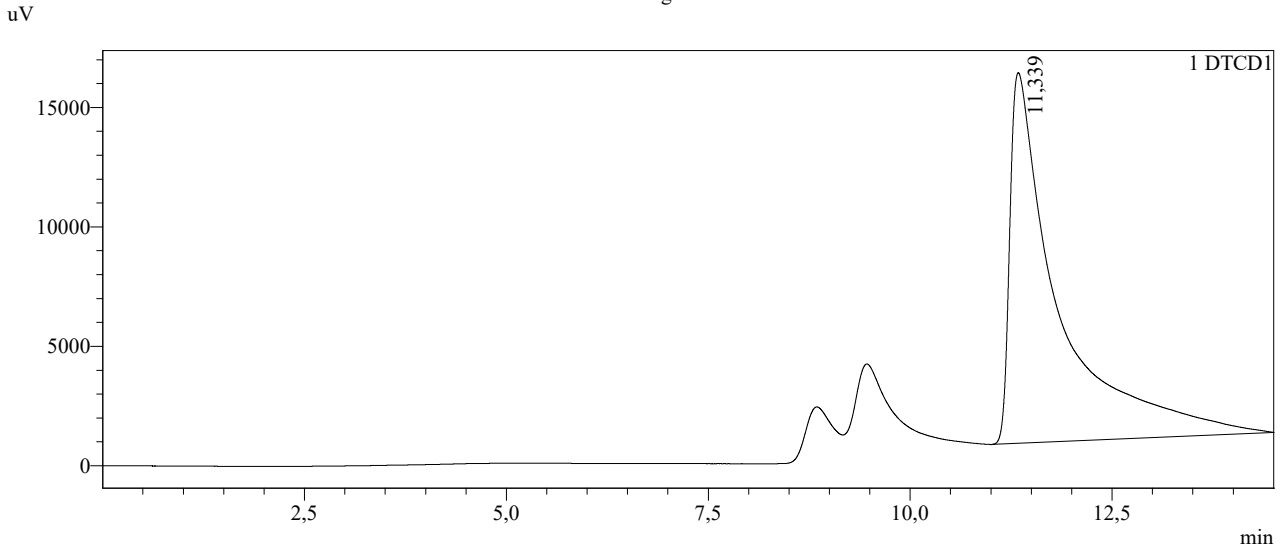
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

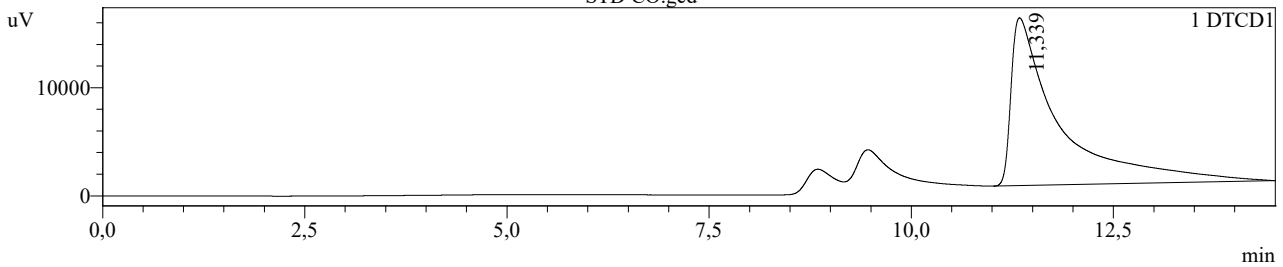
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838



Chromatogram



Summary(Compound)
STD CO.gcd



<< DTCD1 >>

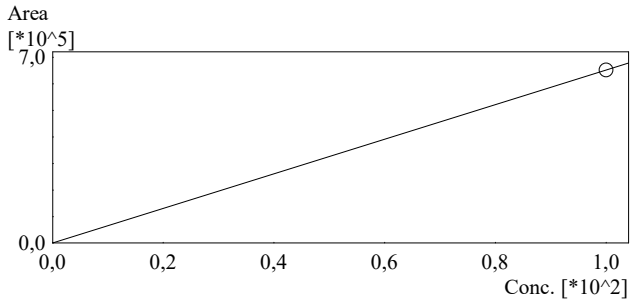
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
STD CO.gcd	STD CO	STD CO	11,339	651838	15519	99,980
Average			11,339	651838	15519	99,980
%RSD			0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum			11,339	651838	15519	99,980
Minimum			11,339	651838	15519	99,980
Standard Deviation			0,000	0	0	0,000

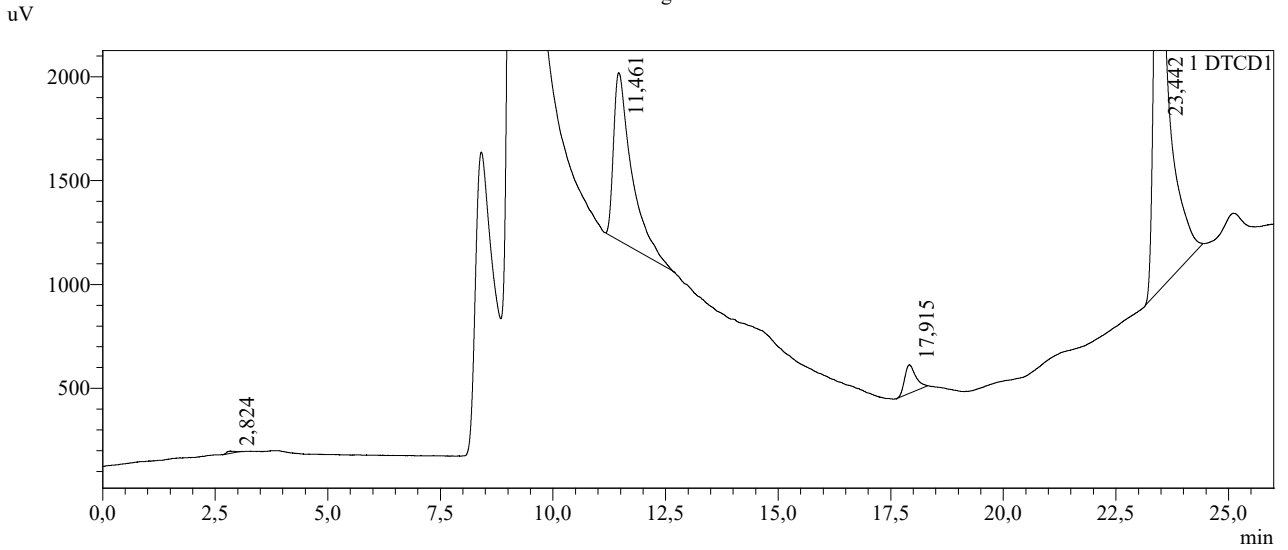
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

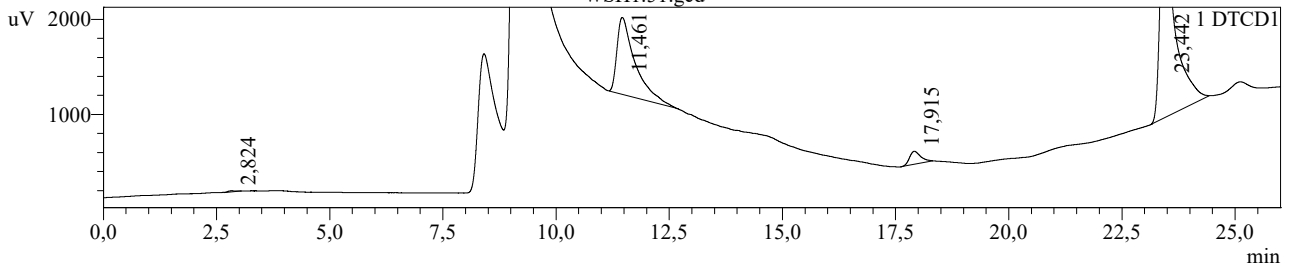
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

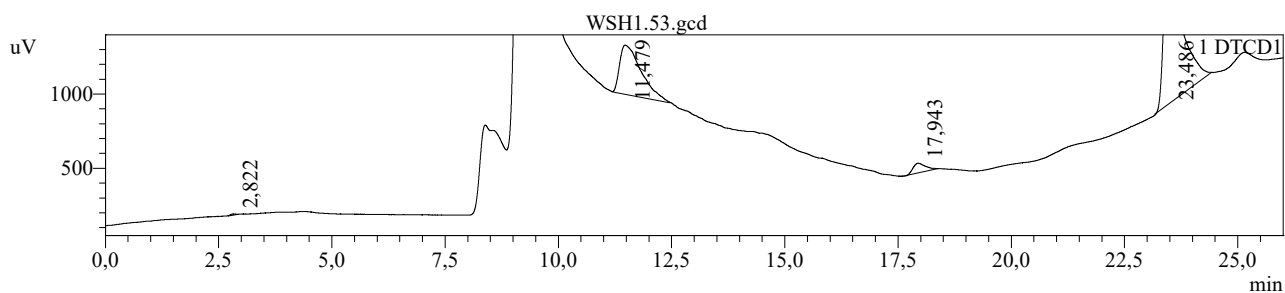
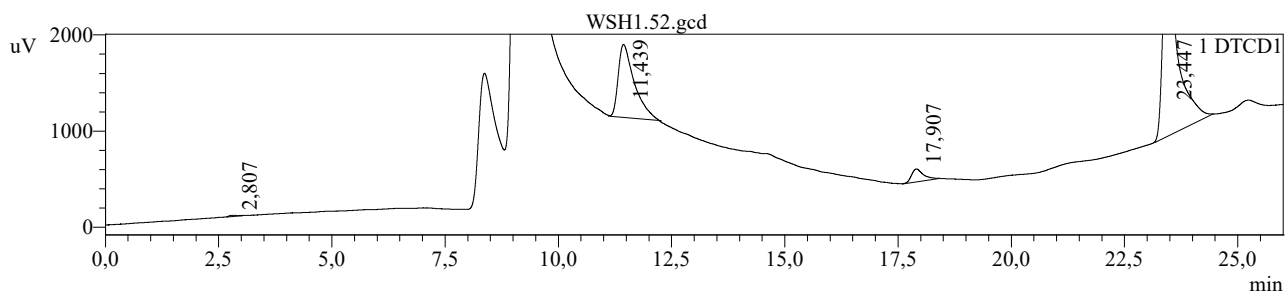


Chromatogram



Summary(Compound) WSH1.51.gcd





<< DTCD1 >>

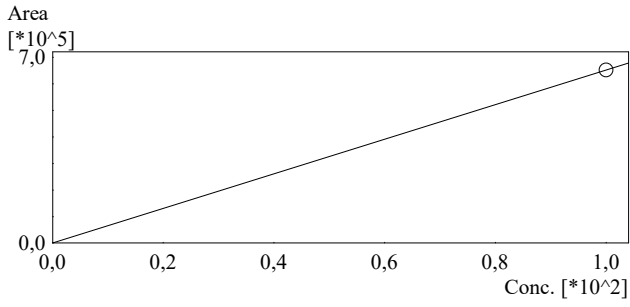
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH1.51.gcd	Aziz	WSH1.51	11,461	22590	807	3,465
WSH1.52.gcd	Aziz	WSH1.52	11,439	18845	759	2,890
WSH1.53.gcd	Aziz	WSH1.53	11,479	11040	332	1,693
Average			11,460	17492	632	2,683
%RSD			0,177	33,690	41,355	33,690
Maximum			11,479	22590	807	3,465
Minimum			11,439	11040	332	1,693
Standard Deviation			0,020	5893	262	0,904

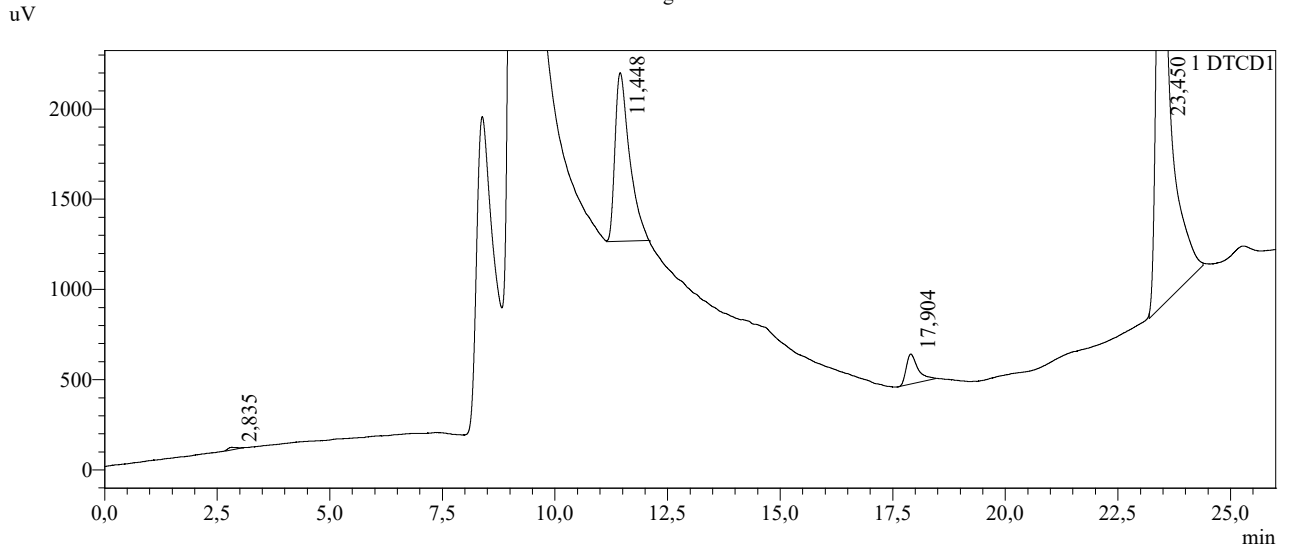
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

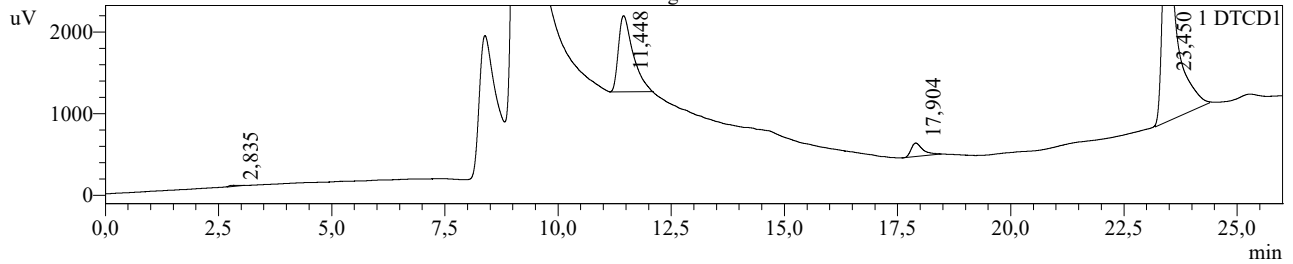
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

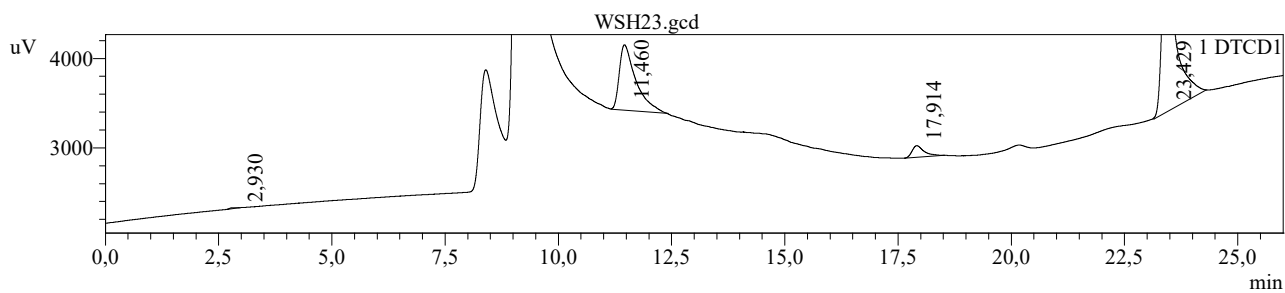
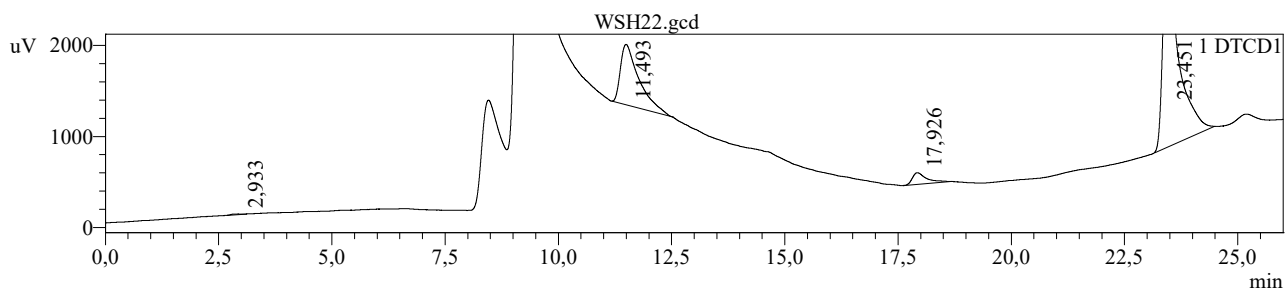


Chromatogram



Summary(Compound) WSH21.gcd





<< DTCD1 >>

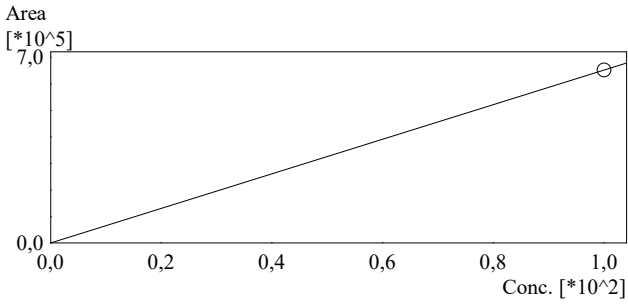
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH21.gcd	Aziz	WSH21	11,448	21015	934	3,223
WSH22.gcd	Aziz	WSH22	11,493	18974	665	2,910
WSH23.gcd	Aziz	WSH23	11,460	18682	732	2,865
Average			11,467	19557	777	3,000
%RSD			0,206	6,498	18,015	6,498
Maximum			11,493	21015	934	3,223
Minimum			11,448	18682	665	2,865
Standard Deviation			0,024	1271	140	0,195

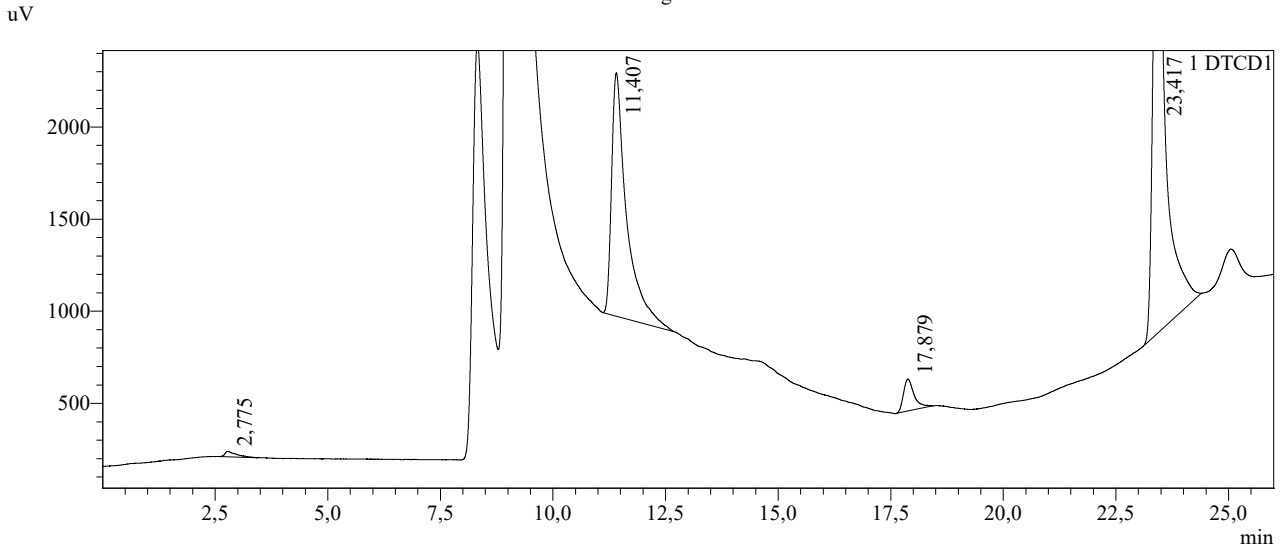
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

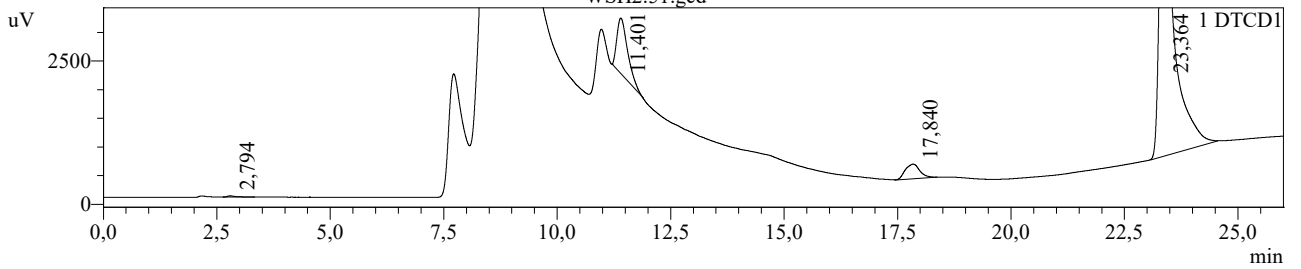
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

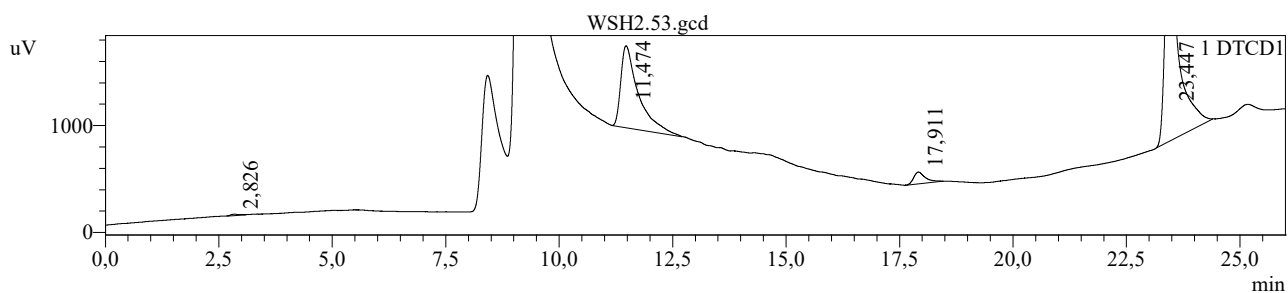
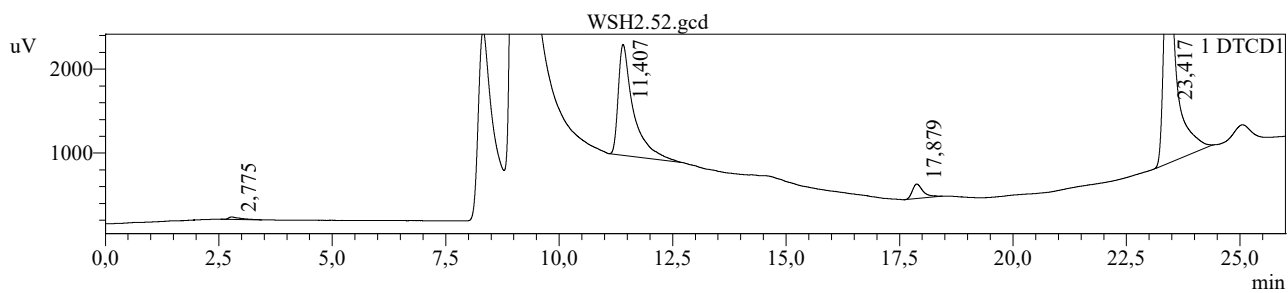


Chromatogram



Summary(Compound)
 WSH2.51.gcd





<< DTCD1 >>

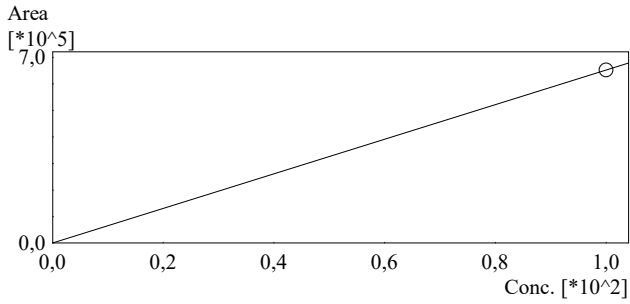
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH2.51.gcd	Aziz	WSH2.51	11.401	16074	967	2,466
WSH2.52.gcd	Aziz	WSH2.52	11.407	30687	1322	4,707
WSH2.53.gcd	Aziz	WSH2.53	11.474	20739	767	3,181
Average			11,427	22500	1019	3,451
%RSD			0,353	33,171	27,605	33,171
Maximum			11,474	30687	1322	4,707
Minimum			11,401	16074	767	2,466
Standard Deviation			0,040	7464	281	1,145

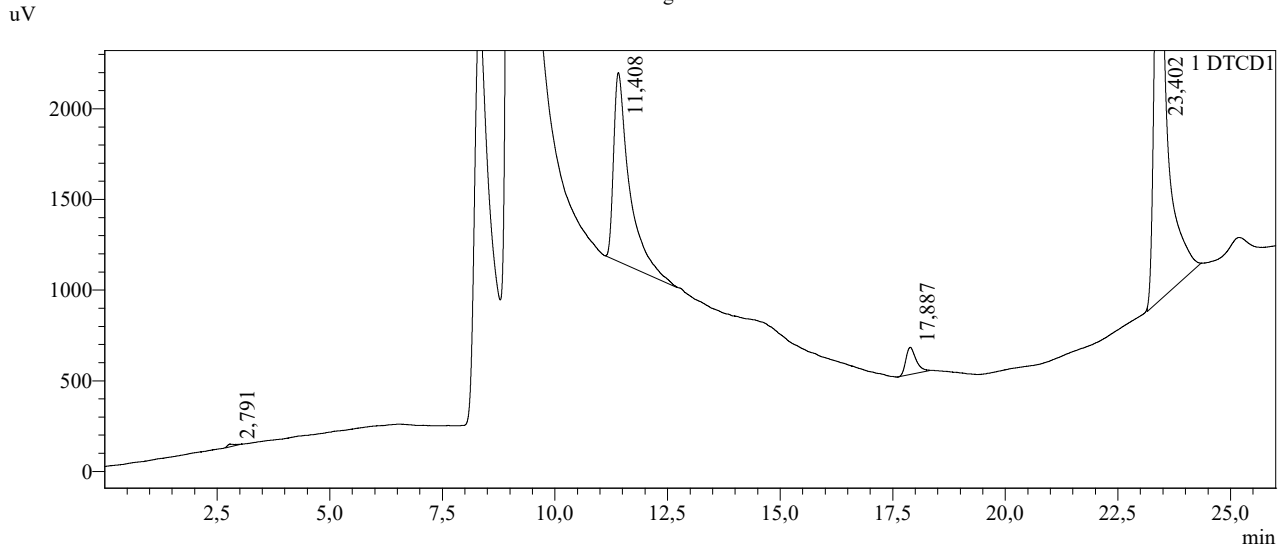
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

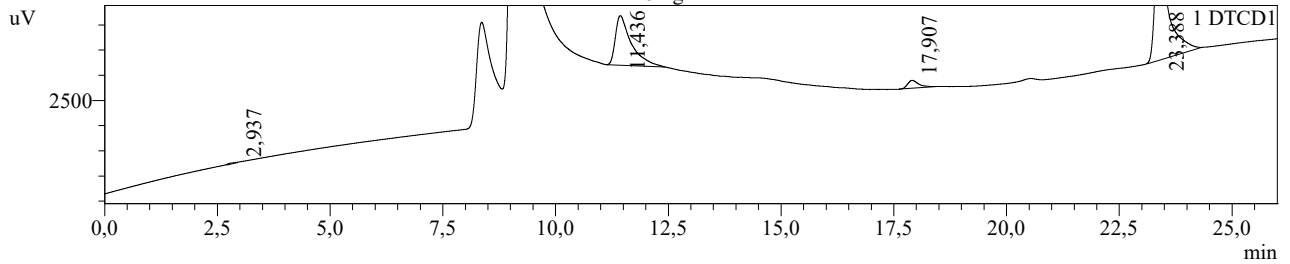
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

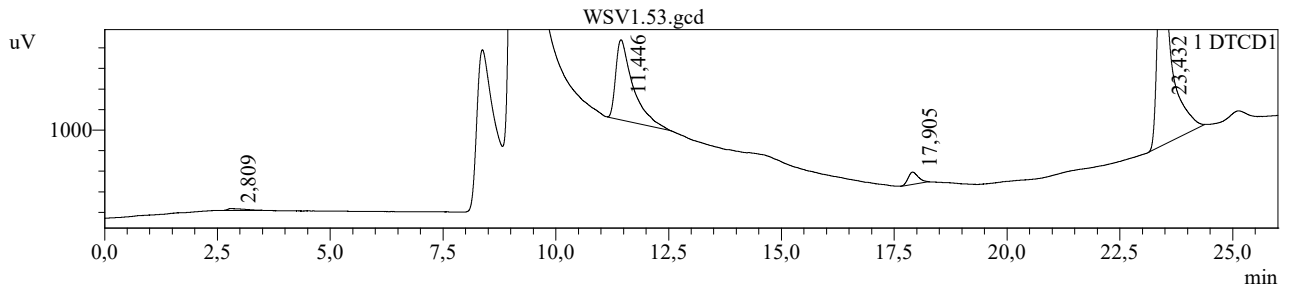
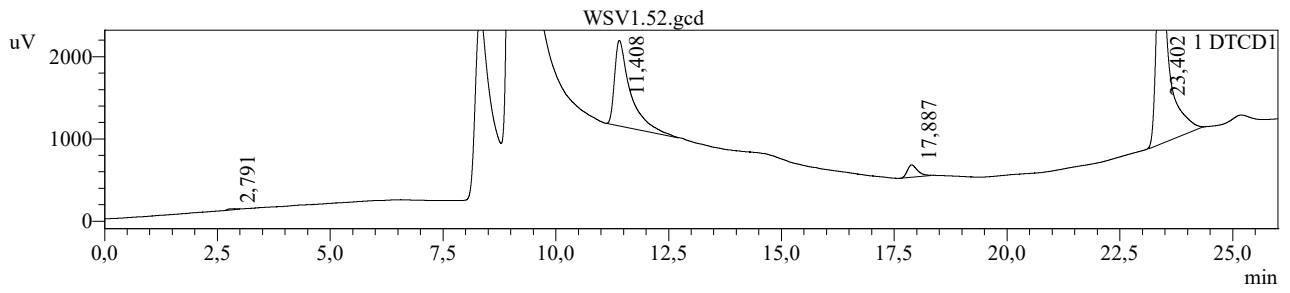


Chromatogram



Summary(Compound) WSV1.51.gcd





<< DTCD1 >>

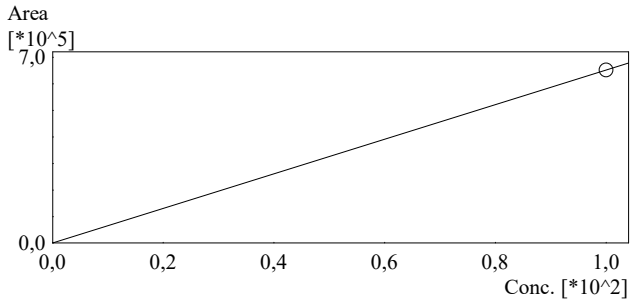
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV1.51.gcd	Aziz	WSV1.51	11,436	24223	986	3,715
WSV1.52.gcd	Aziz	WSV1.52	11,408	25525	1042	3,915
WSV1.53.gcd	Aziz	WSV1.53	11,446	20690	779	3,174
Average			11,430	23479	936	3,601
%RSD			0,172	10,655	14,796	10,655
Maximum			11,446	25525	1042	3,915
Minimum			11,408	20690	779	3,174
Standard Deviation			0,020	2502	138	0,384

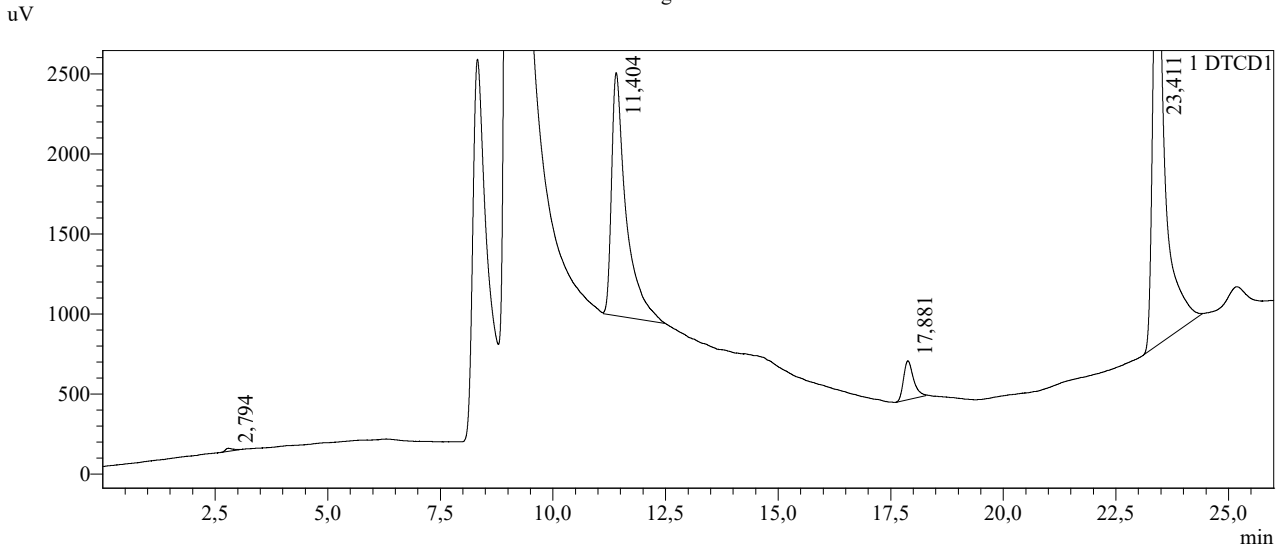
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

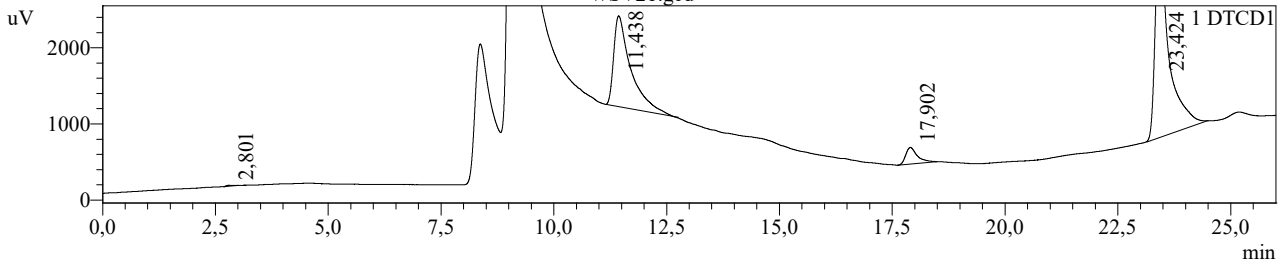
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

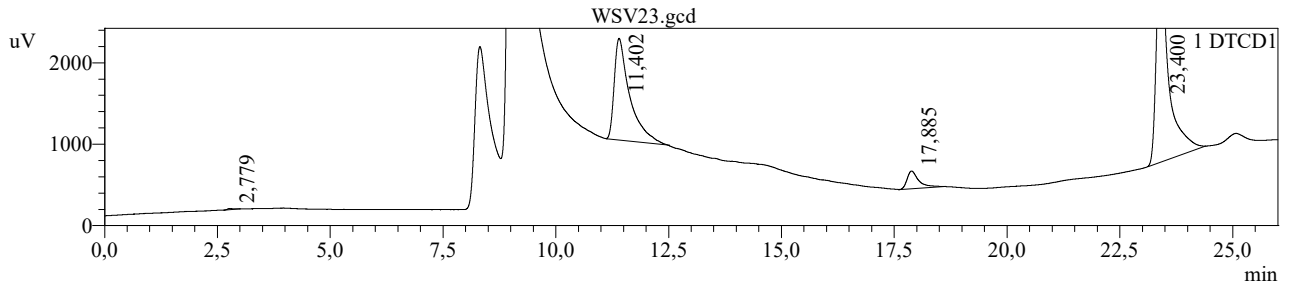
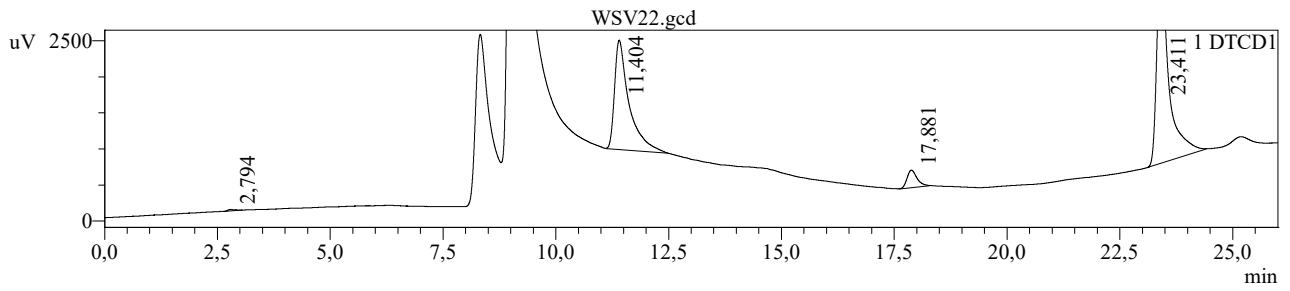


Chromatogram



Summary(Compound)
WSV21.gcd





<< DTCD1 >>

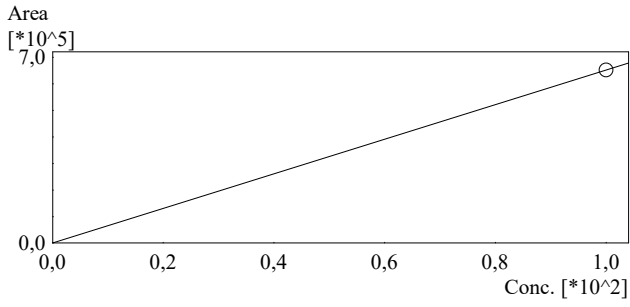
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV21.gcd	Aziz	WSV21	11,438	31558	1194	4,840
WSV22.gcd	Aziz	WSV22	11,404	34041	1517	5,221
WSV23.gcd	Aziz	WSV23	11,402	30019	1249	4,604
Average			11,414	31872	1320	4,889
%RSD			0,177	6,368	13,103	6,368
Maximum			11,438	34041	1517	5,221
Minimum			11,402	30019	1194	4,604
Standard Deviation			0,020	2030	173	0,311

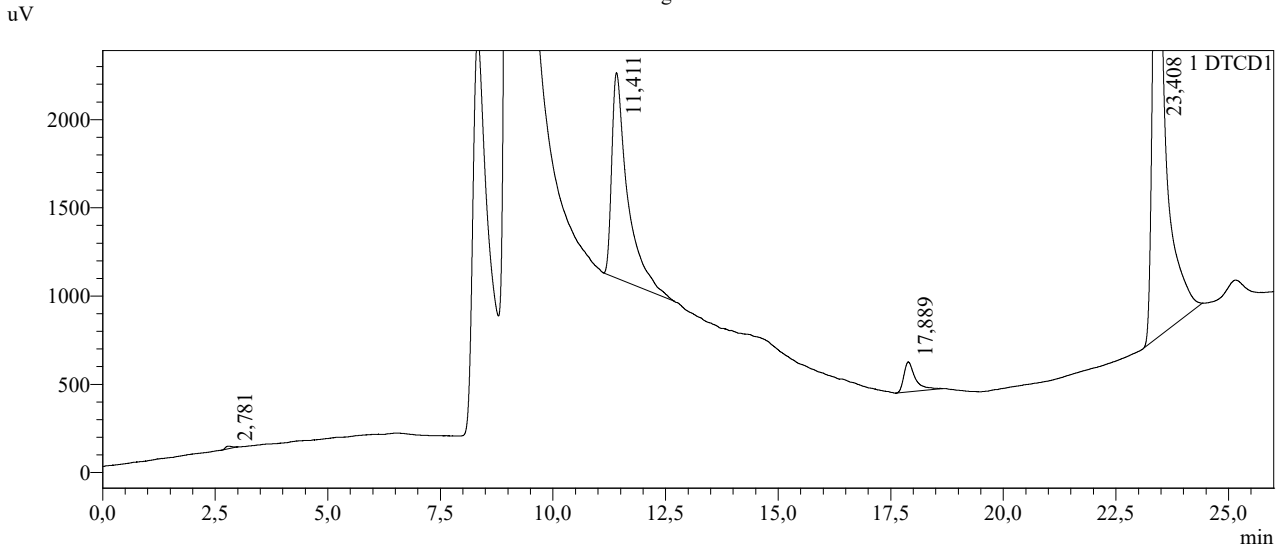
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

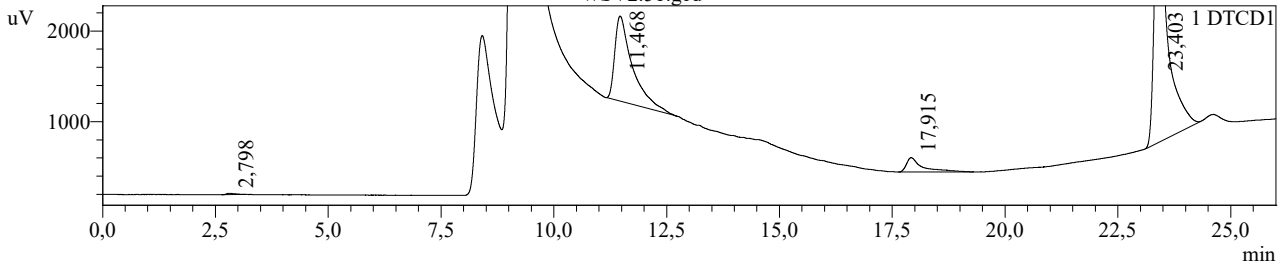
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

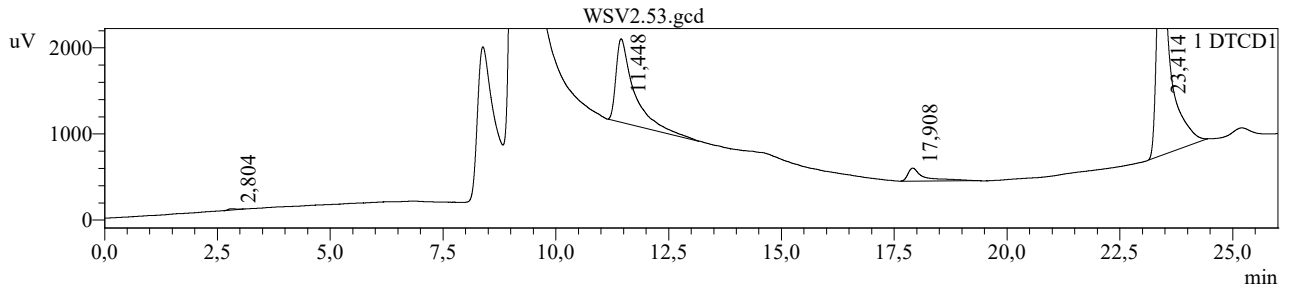
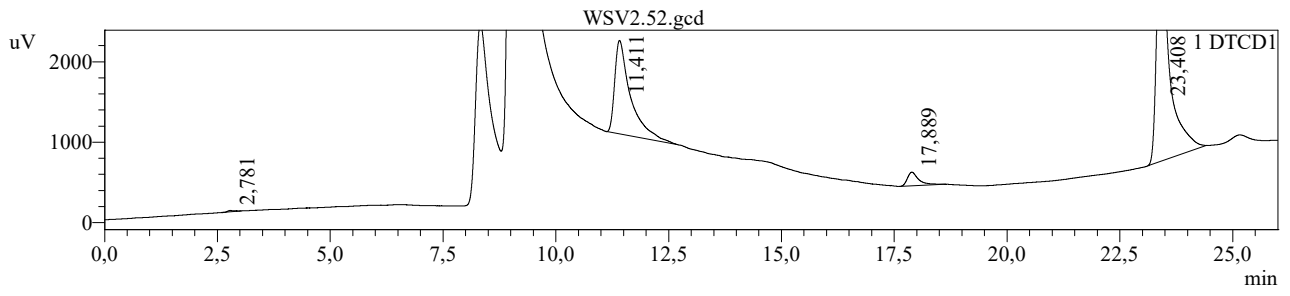


Chromatogram



Summary(Compound)
WSV2.51.gcd





<< DTCD1 >>

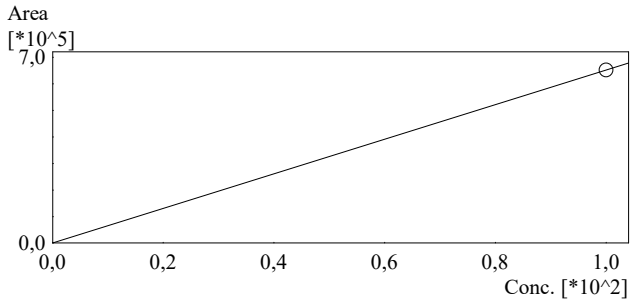
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV2.51.gcd	Aziz	WSV2.51	11,468	25516	938	3,914
WSV2.52.gcd	Aziz	WSV2.52	11,411	28224	1163	4,329
WSV2.53.gcd	Aziz	WSV2.53	11,448	27385	971	4,200
Average			11,442	27042	1024	4,148
%RSD			0,254	5,127	11,845	5,127
Maximum			11,468	28224	1163	4,329
Minimum			11,411	25516	938	3,914
Standard Deviation			0,029	1386	121	0,213

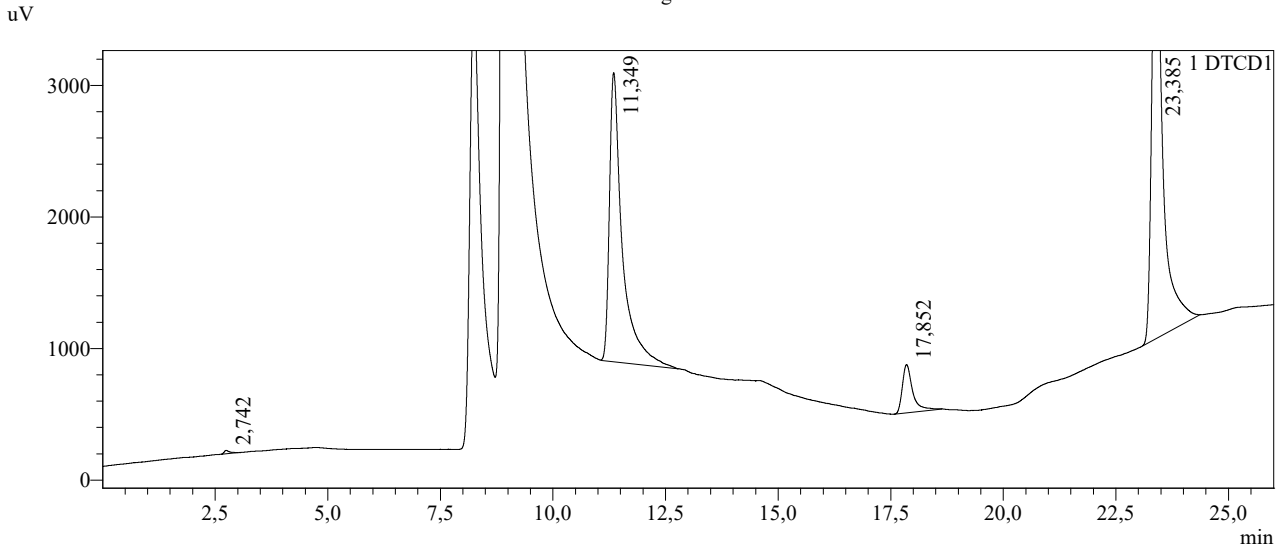
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

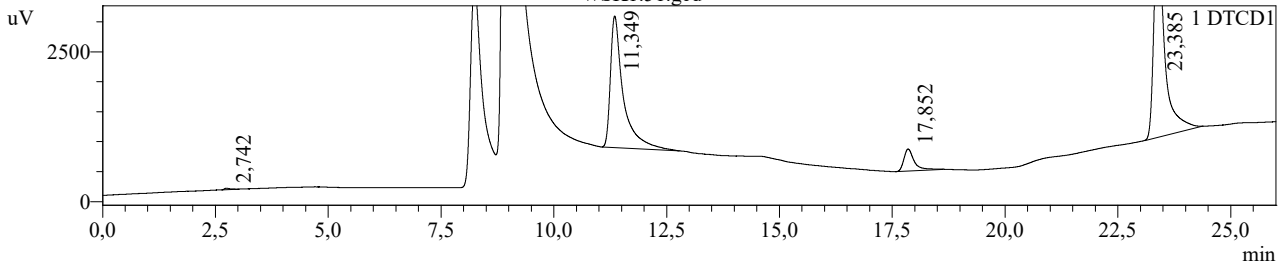
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

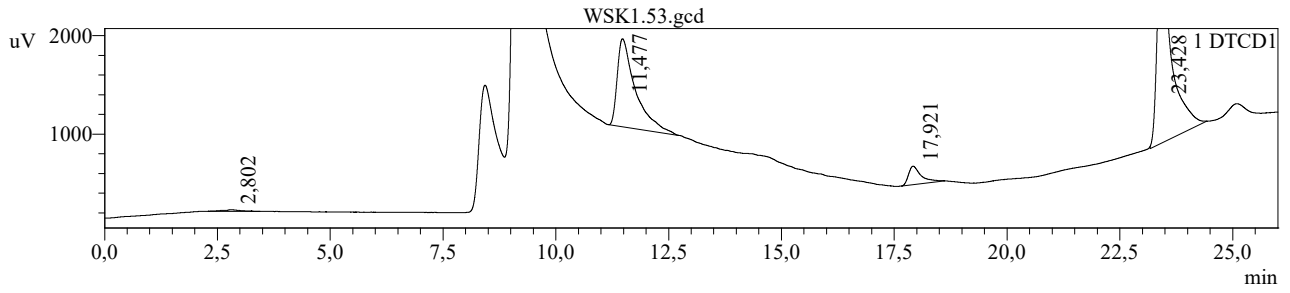
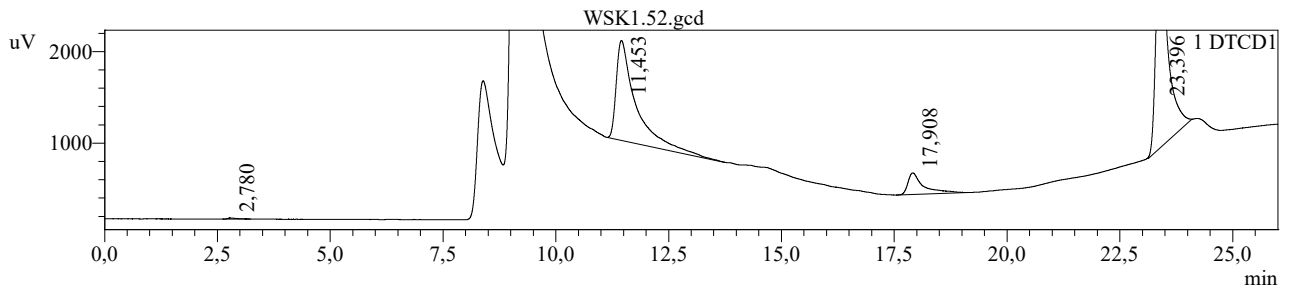


Chromatogram



Summary(Compound)
 WSK1.51.gcd





<< DTCD1 >>

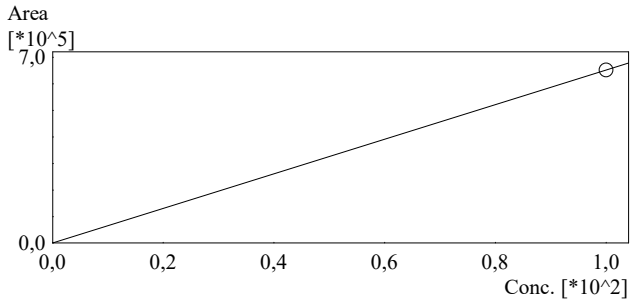
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK1.51.gcd	Aziz	WSK1.51	11,349	43712	2197	6,705
WSK1.52.gcd	Aziz	WSK1.52	11,453	33147	1092	5,084
WSK1.53.gcd	Aziz	WSK1.53	11,477	25054	893	3,843
Average			11,426	33971	1394	5,211
%RSD			0,597	27,543	50,383	27,543
Maximum			11,477	43712	2197	6,705
Minimum			11,349	25054	893	3,843
Standard Deviation			0,068	9357	702	1,435

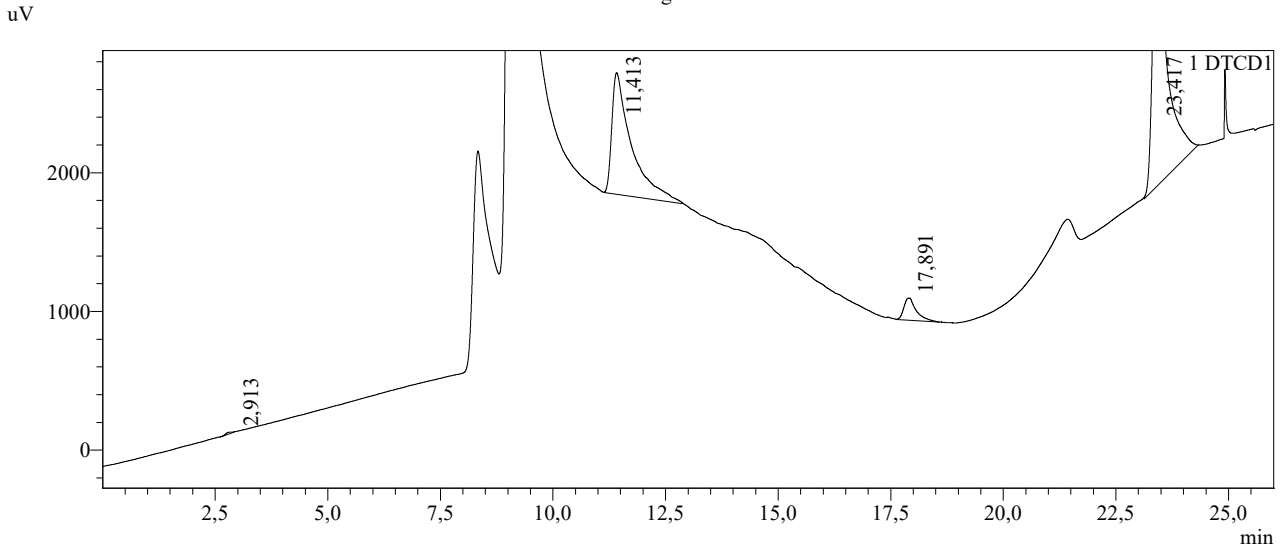
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

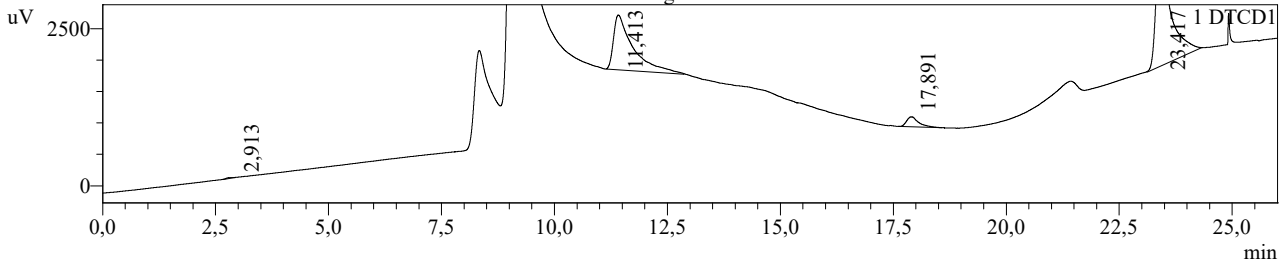
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

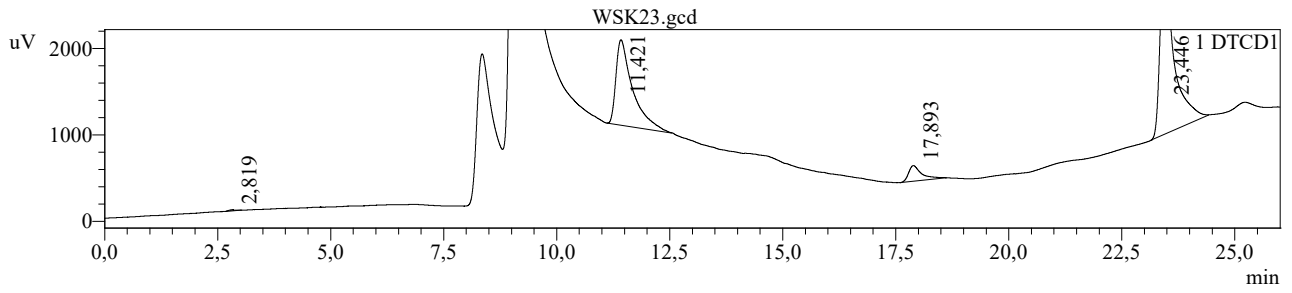
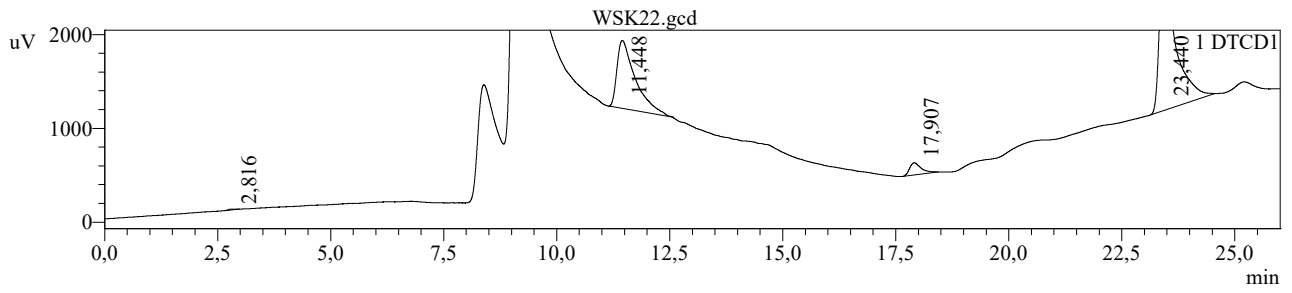


Chromatogram



Summary(Compound) WSK21.gcd





<< DTCD1 >>

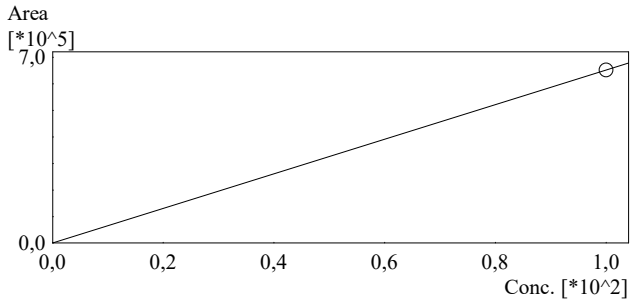
ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK21.gcd	Aziz	WSK21	11,413	26404	876	4,050
WSK22.gcd	Aziz	WSK22	11,448	20478	725	3,141
WSK23.gcd	Aziz	WSK23	11,421	25260	989	3,874
Average			11,427	24047	864	3,688
%RSD			0,159	13,074	15,313	13,074
Maximum			11,448	26404	989	4,050
Minimum			11,413	20478	725	3,141
Standard Deviation			0,018	3144	132	0,482

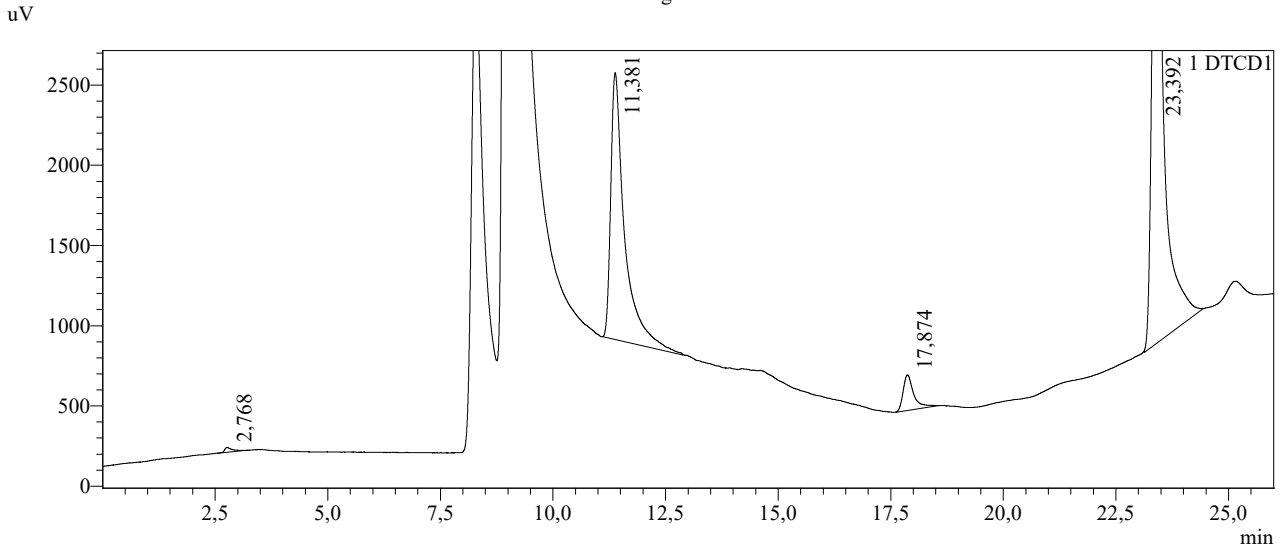
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : Carbon Monoxide
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=6519,68*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 6,519680e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

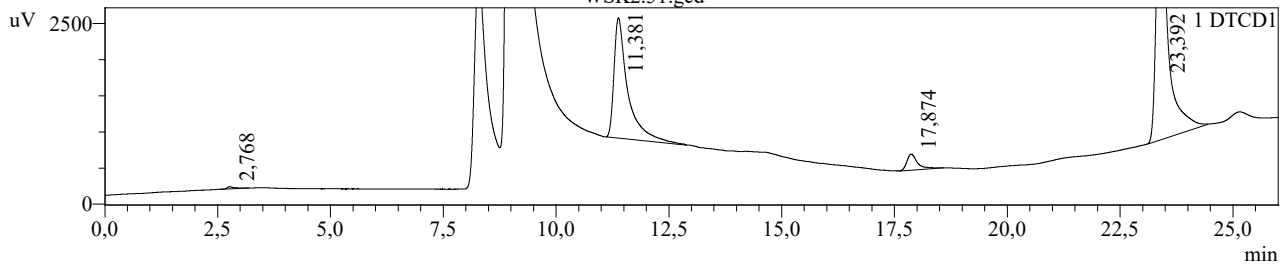
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,98	651838	651838

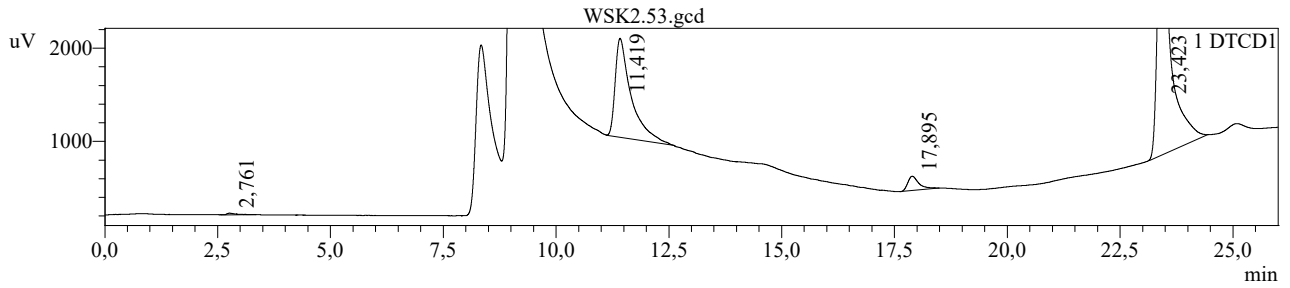
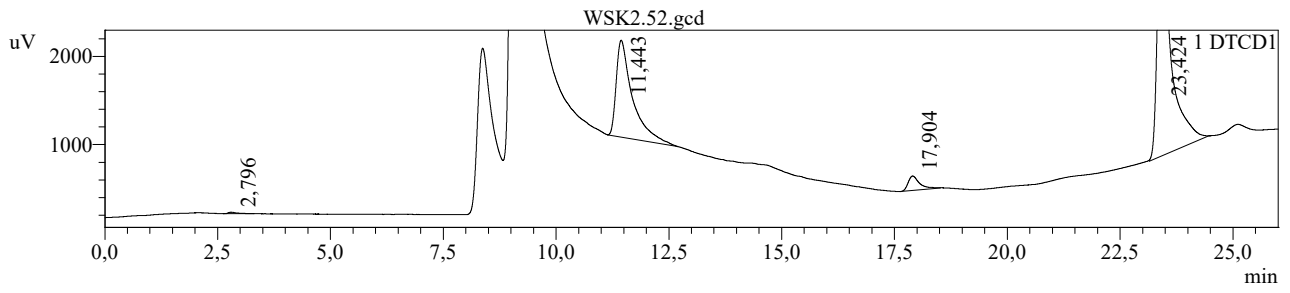


Chromatogram



Summary(Compound)
 WSK2.51.gcd





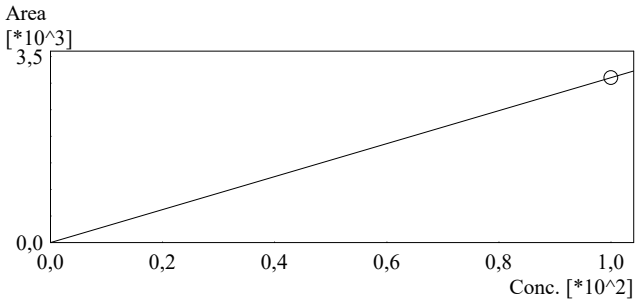
<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: Carbon Monoxide

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK2.51.gcd	Aziz	WSK2.51	11,381	35451	1663	5,438
WSK2.52.gcd	Aziz	WSK2.52	11,443	27566	1097	4,228
WSK2.53.gcd	Aziz	WSK2.53	11,419	26080	1060	4,000
Average			11,414	29699	1274	4,555
%RSD			0,272	16,958	26,536	16,958
Maximum			11,443	35451	1663	5,438
Minimum			11,381	26080	1060	4,000
Standard Deviation			0,031	5036	338	0,772

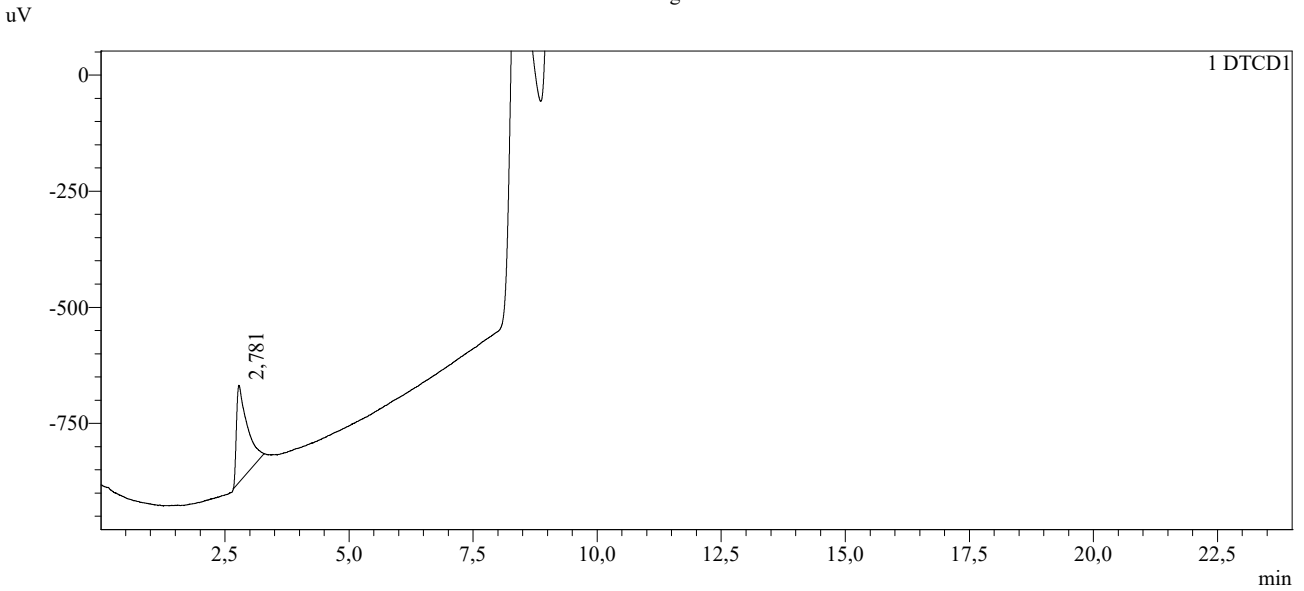
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

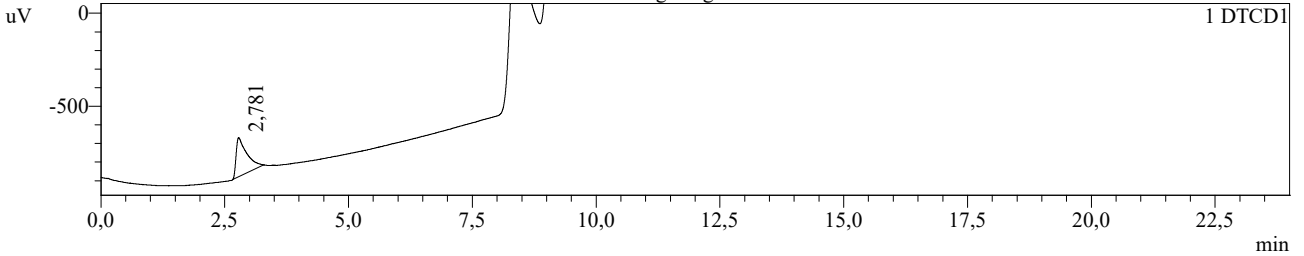


#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106

Chromatogram



Summary(Compound)
 STD Hidrogen1.gcd



<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

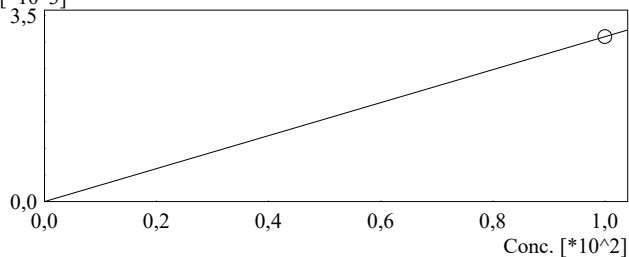
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
STD Hidrogen1.gcd	STD H2	STD H2	2,781	3106	210	99,990
Average			2,781	3106	210	99,990
%RSD			0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum			2,781	3106	210	99,990
Minimum			2,781	3106	210	99,990
Standard Deviation			0,000	0	0	0,000

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

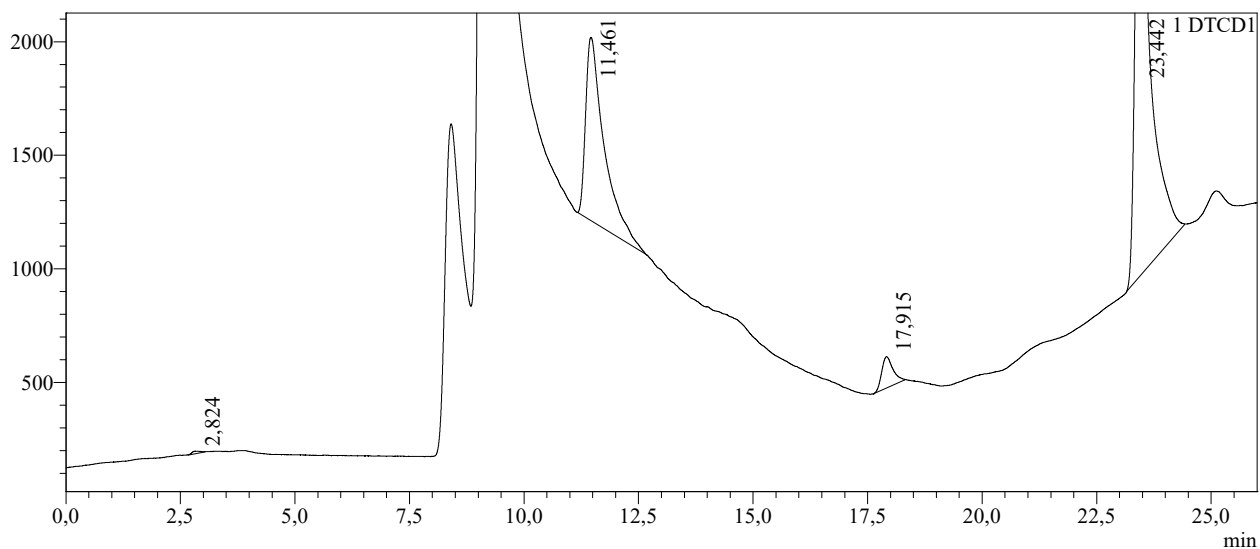
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



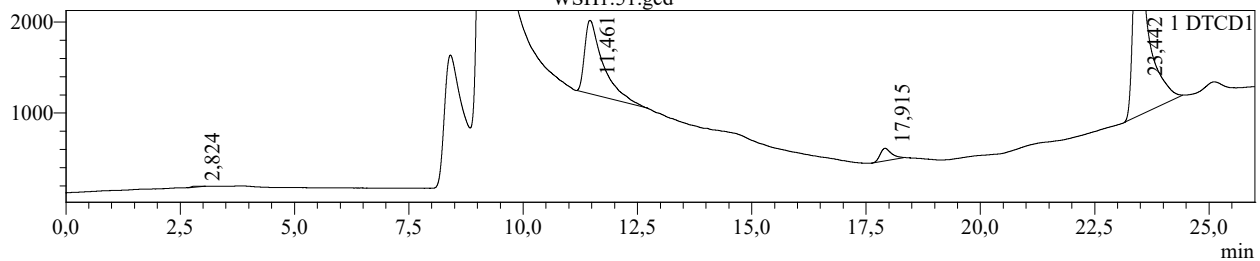
Chromatogram

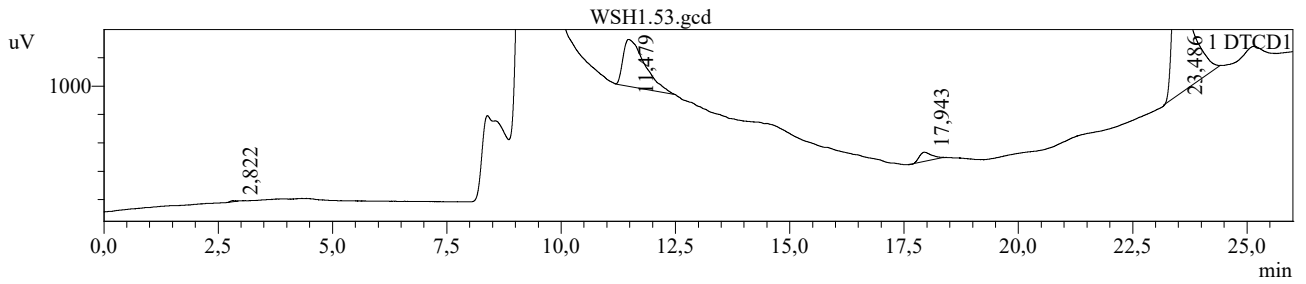
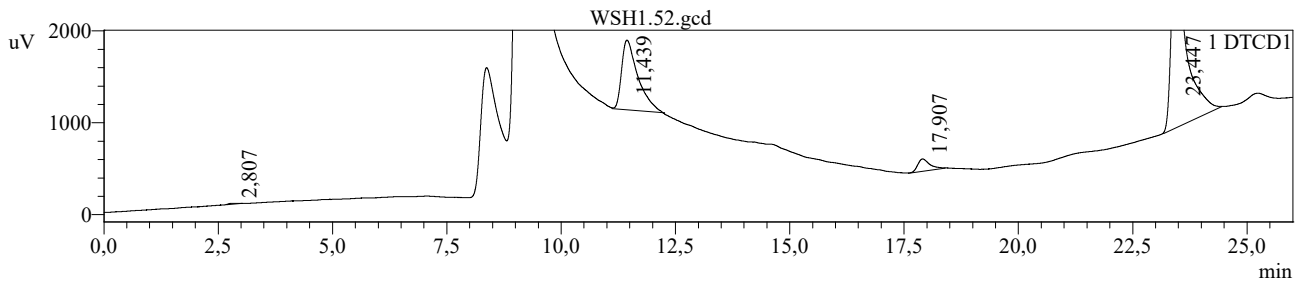
uV



Summary(Compound) WSH1.51.gcd

uV





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

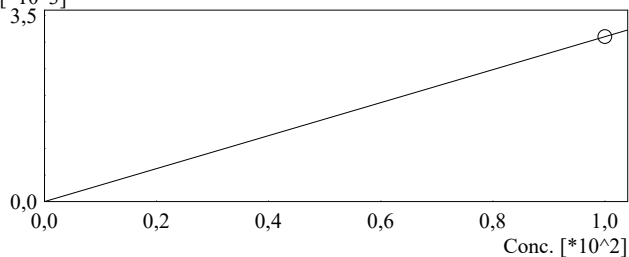
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH1.51.gcd	Aziz	WSH1.51	2,824	130	11	4,187
WSH1.52.gcd	Aziz	WSH1.52	2,807	126	11	4,040
WSH1.53.gcd	Aziz	WSH1.53	2,822	53	7	1,716
Average			2,818	103	10	3,315
%RSD			0,334	41,816	20,992	41,816
Maximum			2,824	130	11	4,187
Minimum			2,807	53	7	1,716
Standard Deviation			0,009	43	2	1,386

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

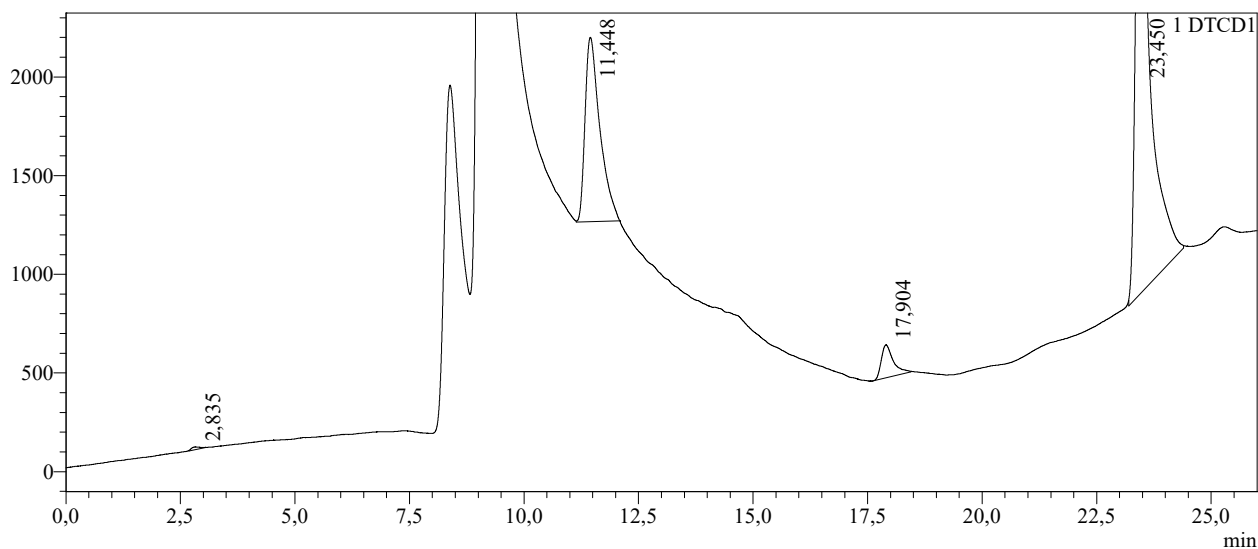
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



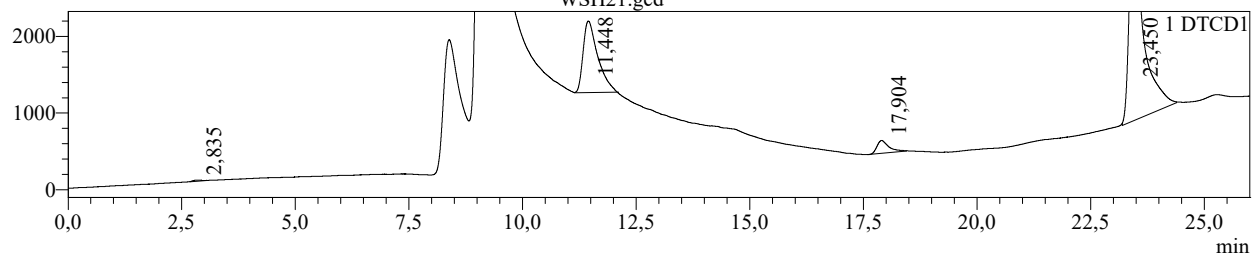
Chromatogram

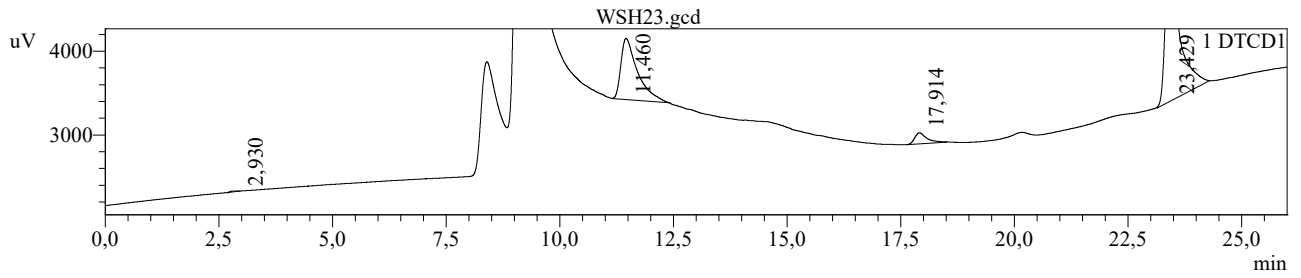
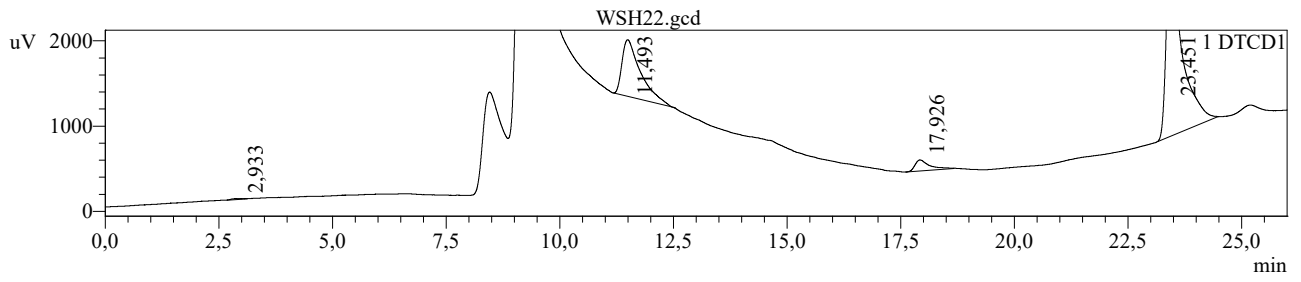
uV



Summary(Compound) WSH21.gcd

uV





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

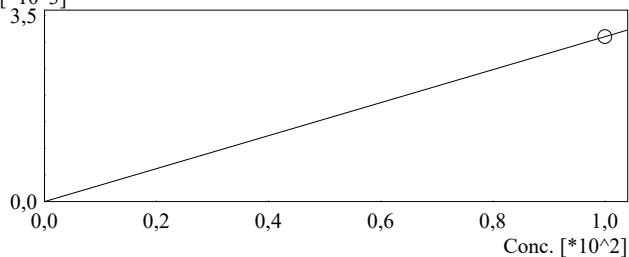
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH21.gcd	Aziz	WSH21	2,835	191	14	6,140
WSH22.gcd	Aziz	WSH22	2,933	148	8	4,764
WSH23.gcd	Aziz	WSH23	2,930	95	2	3,044
Average			2,899	144	8	4,649
%RSD			1,921	33,363	73,340	33,363
Maximum			2,933	191	14	6,140
Minimum			2,835	95	2	3,044
Standard Deviation			0,056	48	6	1,551

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

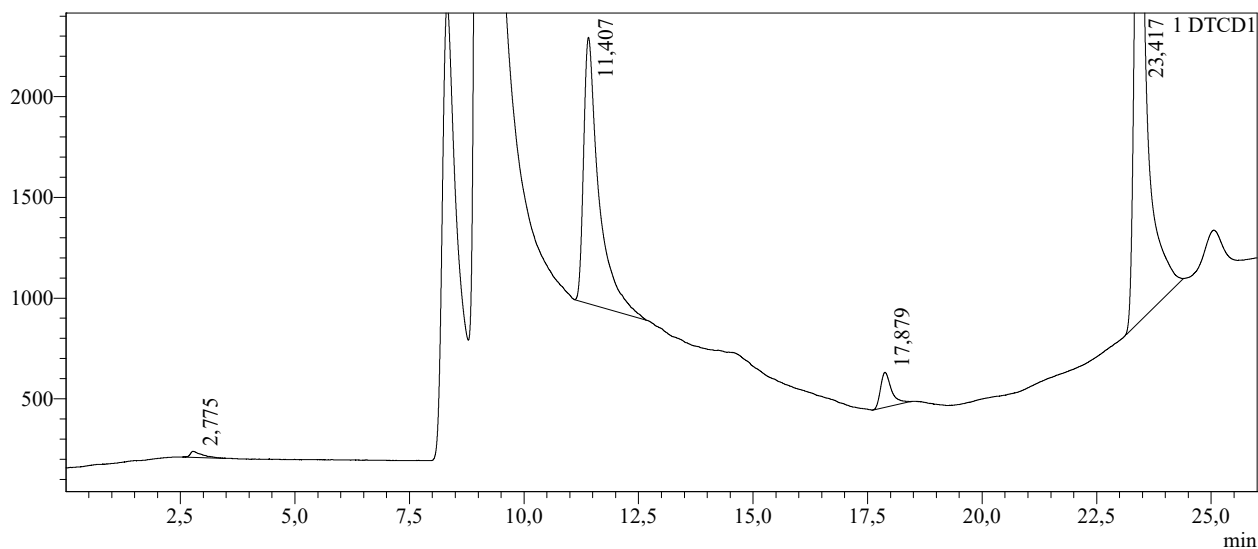
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



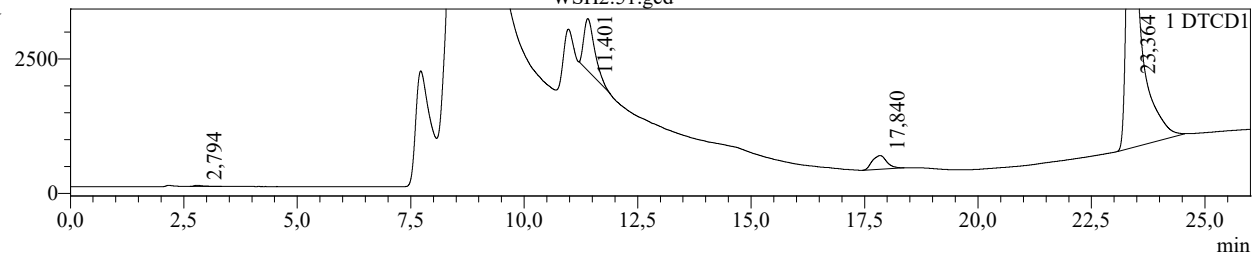
Chromatogram

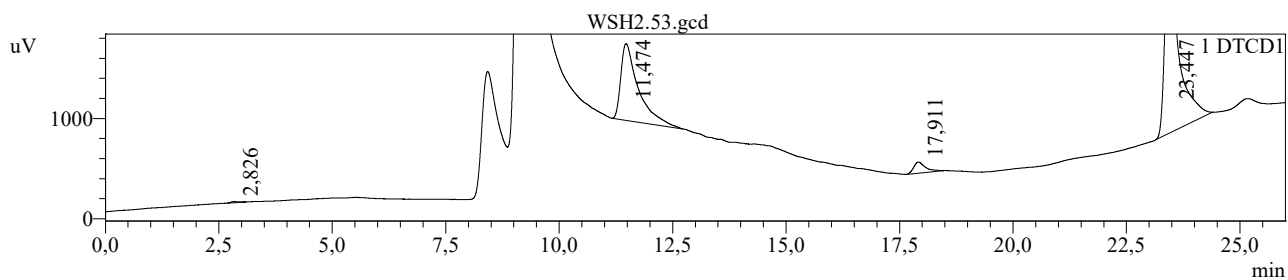
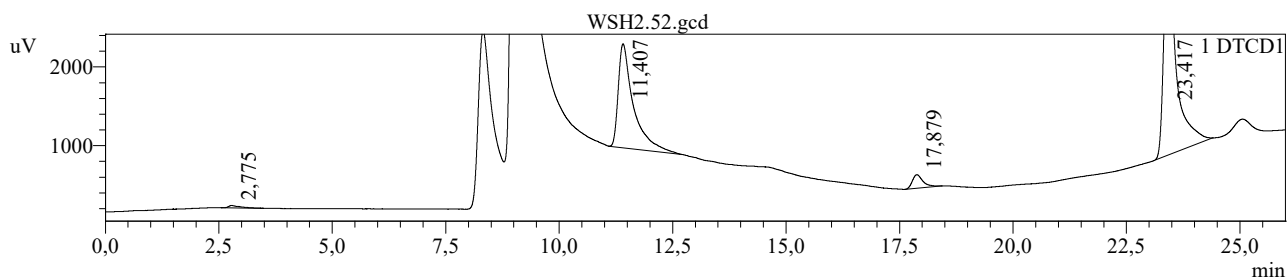
uV



Summary(Compound)
WSH2.51.gcd

uV





<< DTCD1 >>

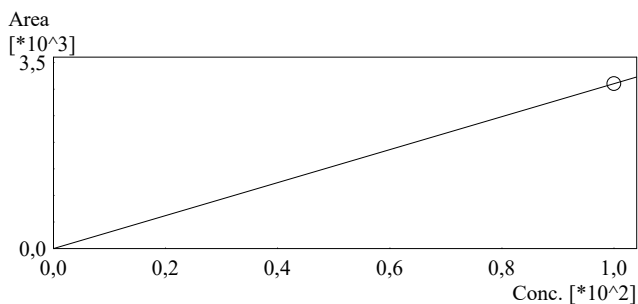
ID#1 Compound Name: HYDROGEN

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH2.51.gcd	Aziz	WSH2.51	2,794	284	21	9,151
WSH2.52.gcd	Aziz	WSH2.52	2,775	540	30	17,386
WSH2.53.gcd	Aziz	WSH2.53	2,826	150	13	4,816
Average			2,798	325	21	10,451
%RSD			0,921	61,093	40,789	61,093
Maximum			2,826	540	30	17,386
Minimum			2,775	150	13	4,816
Standard Deviation			0,026	198	9	6,385

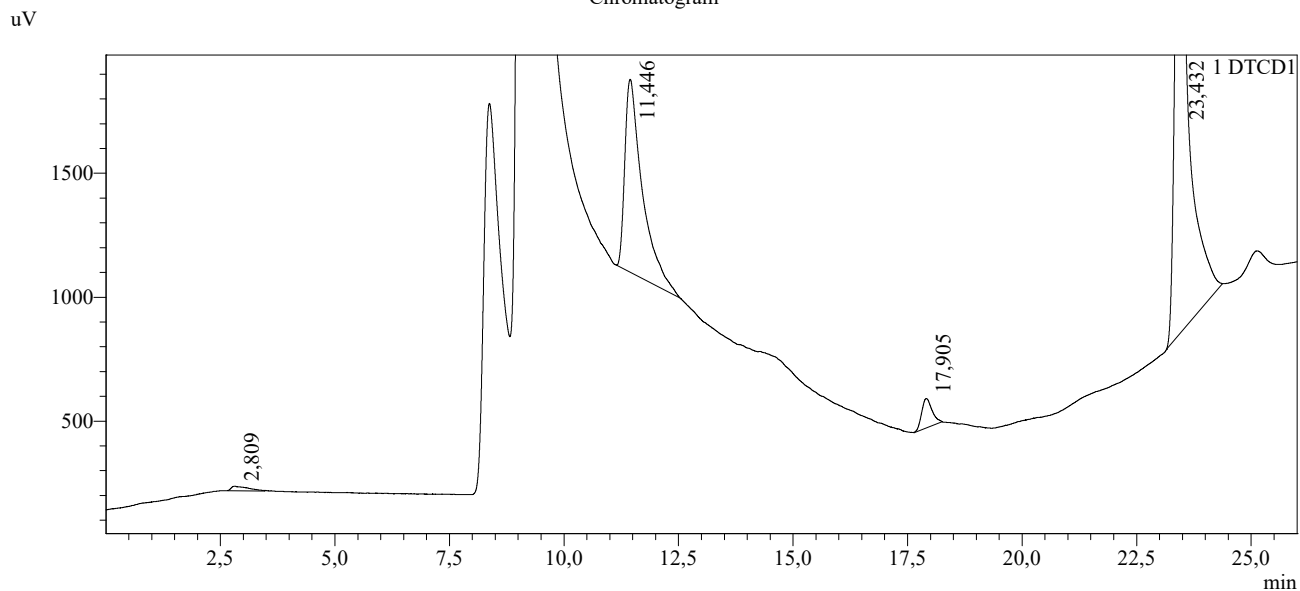
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

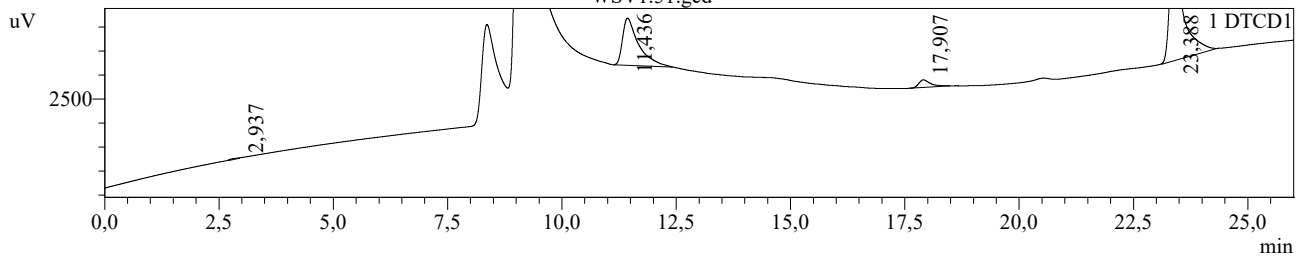
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106

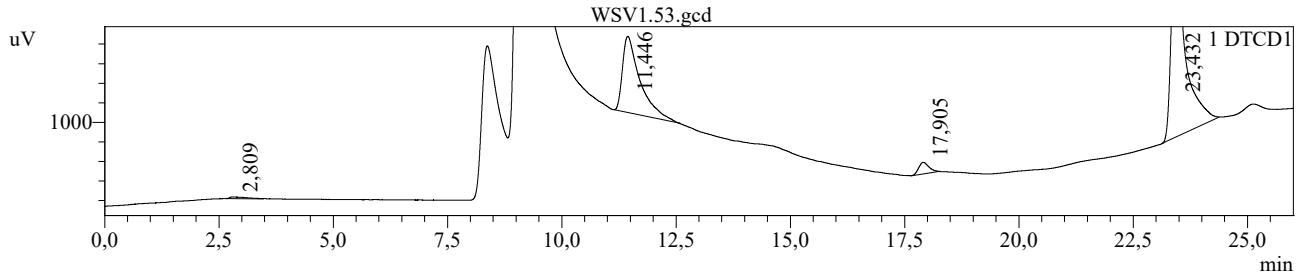
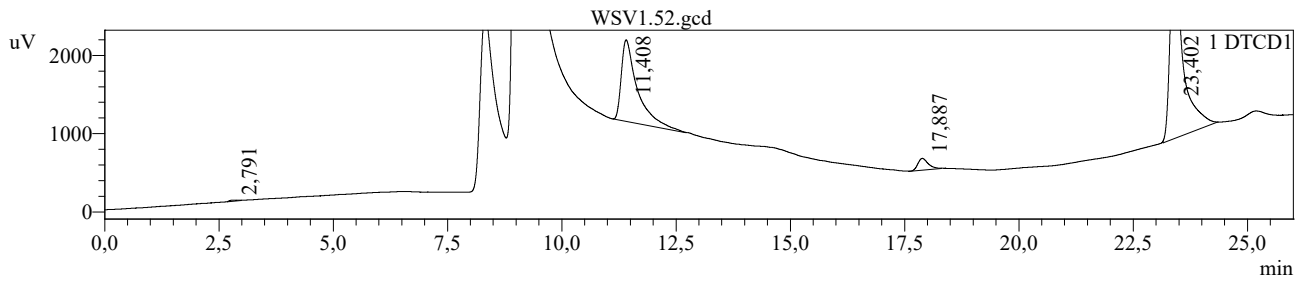


Chromatogram



Summary(Compound) WSV1.51.gcd





<< DTCD1 >>

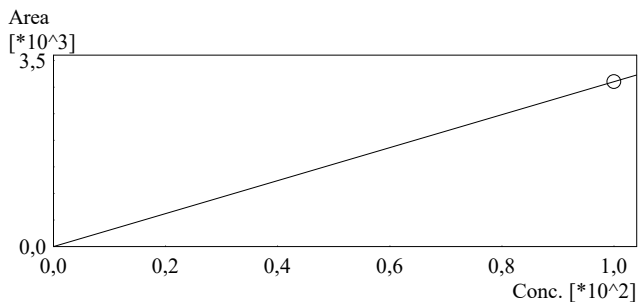
ID#1 Compound Name: HYDROGEN

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV1.51.gcd	Aziz	WSV1.51	2,937	188	6	6,042
WSV1.52.gcd	Aziz	WSV1.52	2,791	149	14	4,785
WSV1.53.gcd	Aziz	WSV1.53	2,809	489	18	15,748
Average			2,845	275	13	8,859
%RSD			2,793	67,726	48,186	67,726
Maximum			2,937	489	18	15,748
Minimum			2,791	149	6	4,785
Standard Deviation			0,079	186	6	6,000

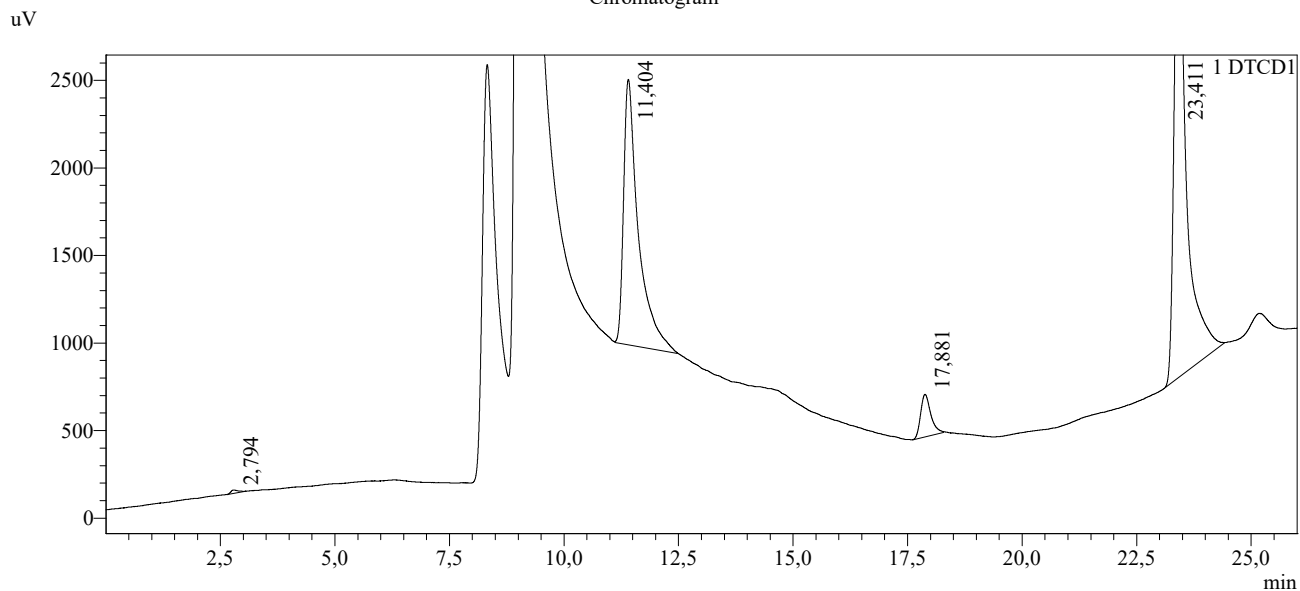
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

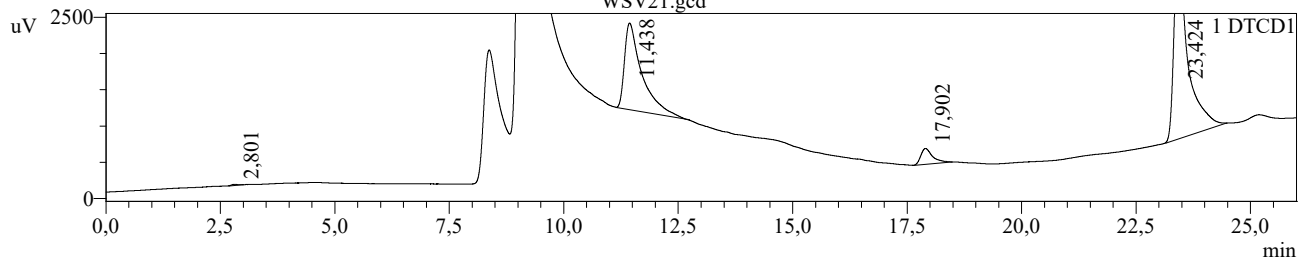
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106

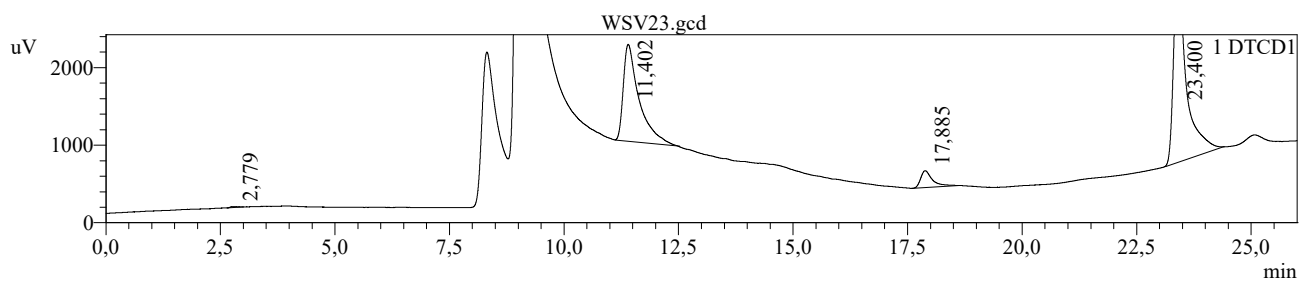
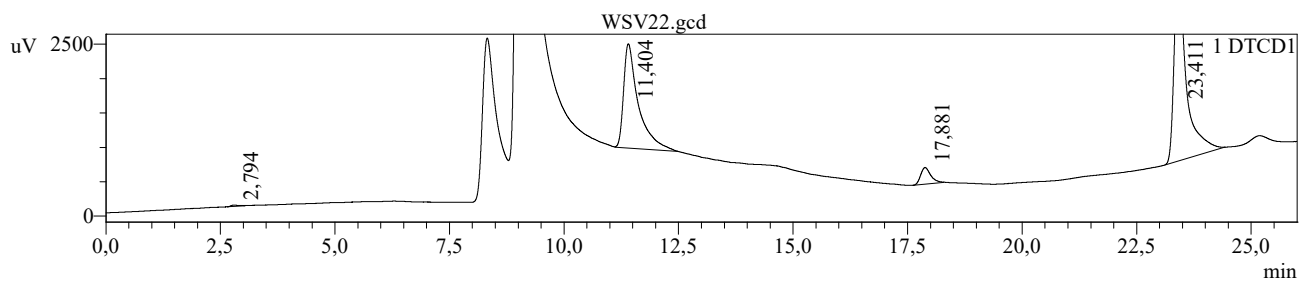


Chromatogram



Summary(Compound) WSV21.gcd





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

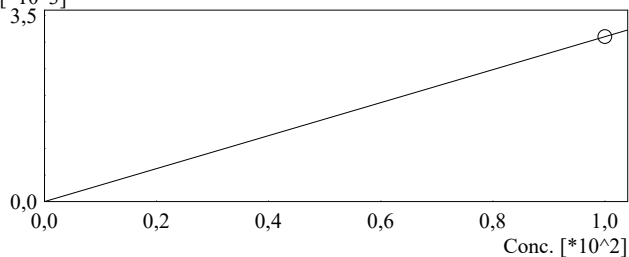
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV21.gcd	Aziz	WSV21	2,801	139	14	4,462
WSV22.gcd	Aziz	WSV22	2,794	208	19	6,709
WSV23.gcd	Aziz	WSV23	2,779	130	13	4,175
Average			2,791	159	15	5,115
%RSD			0,389	27,132	21,570	27,132
Maximum			2,801	208	19	6,709
Minimum			2,779	130	13	4,175
Standard Deviation			0,011	43	3	1,388

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

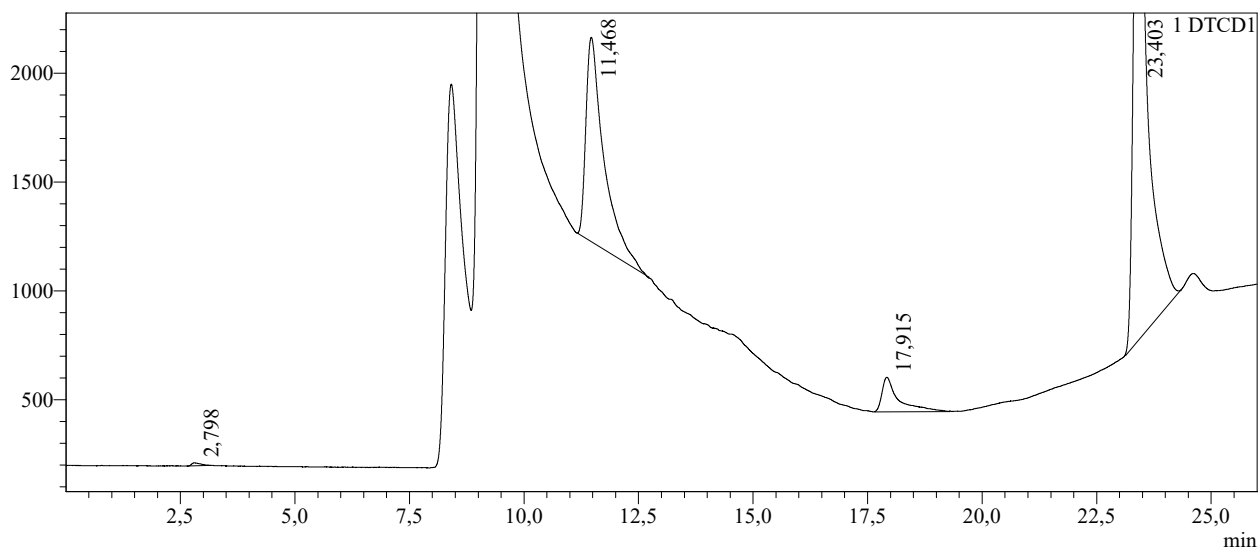
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



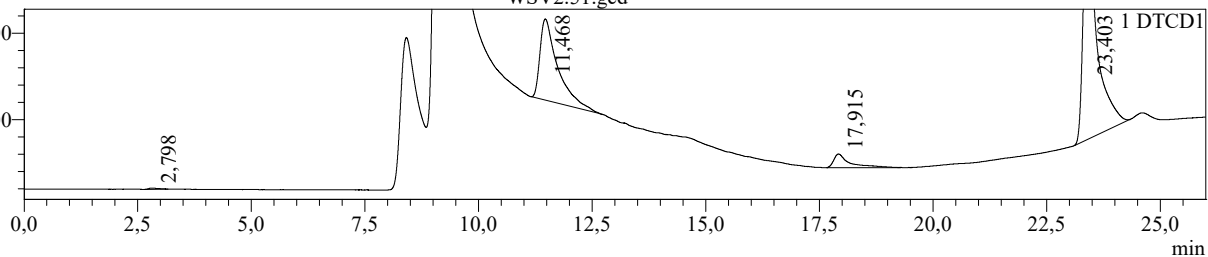
Chromatogram

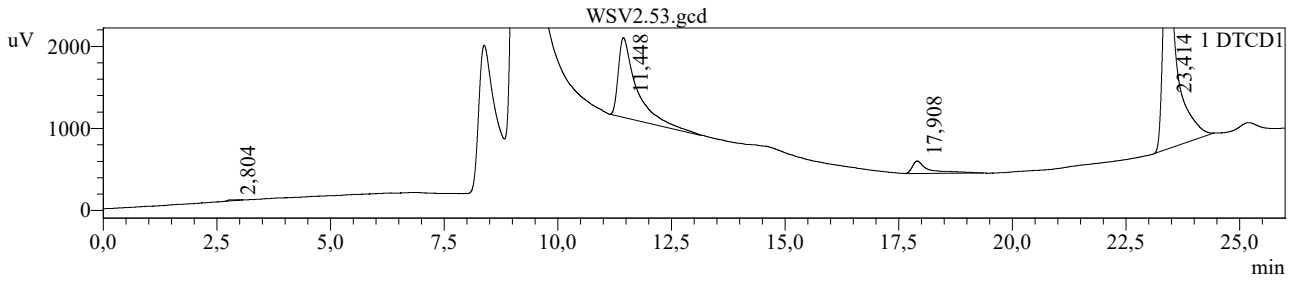
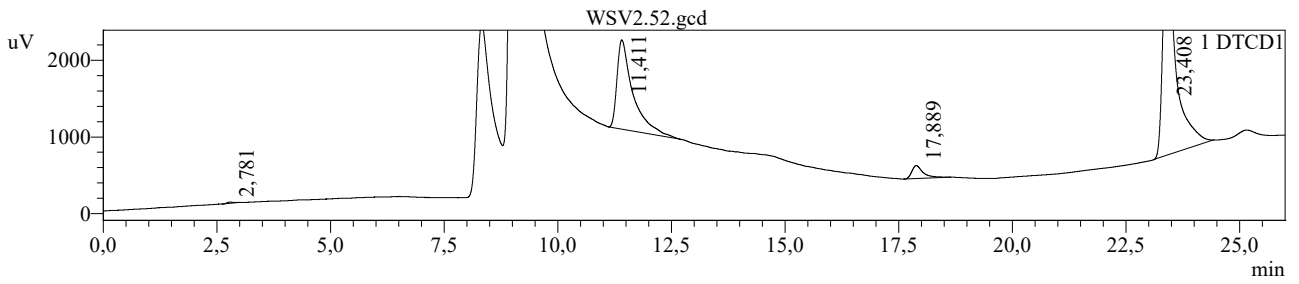
uV



Summary(Compound) WSV2.51.gcd

uV





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

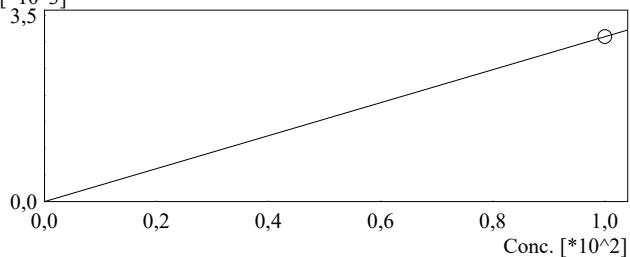
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV2.51.gcd	Aziz	WSV2.51	2,798	188	14	6,043
WSV2.52.gcd	Aziz	WSV2.52	2,781	147	16	4,742
WSV2.53.gcd	Aziz	WSV2.53	2,804	150	14	4,836
Average			2,794	162	15	5,207
%RSD			0,432	13,928	5,493	13,928
Maximum			2,804	188	16	6,043
Minimum			2,781	147	14	4,742
Standard Deviation			0,012	23	1	0,725

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

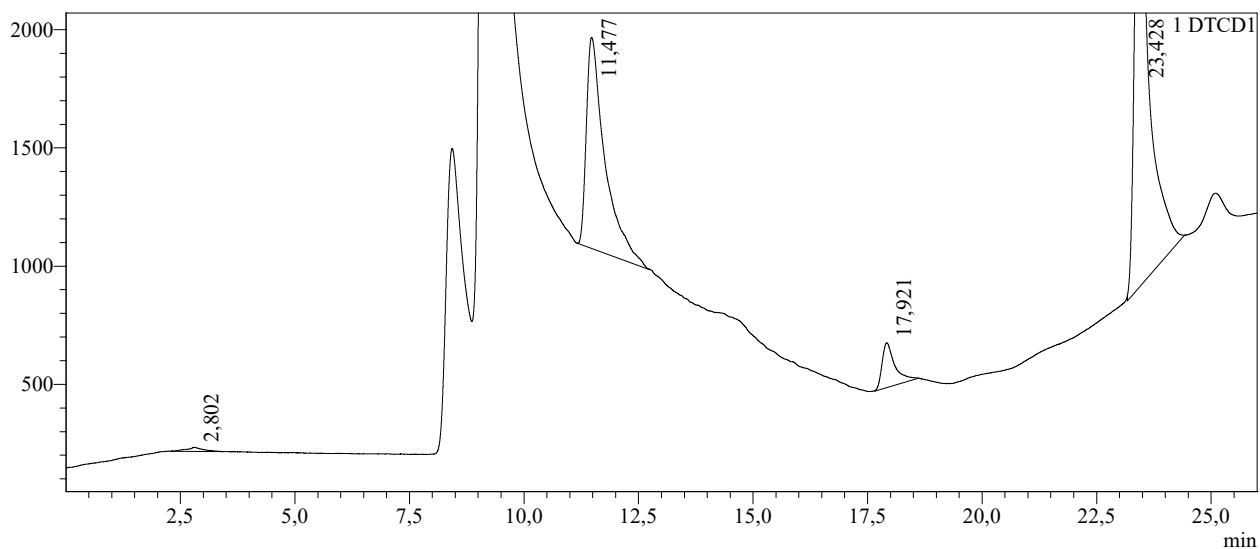
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



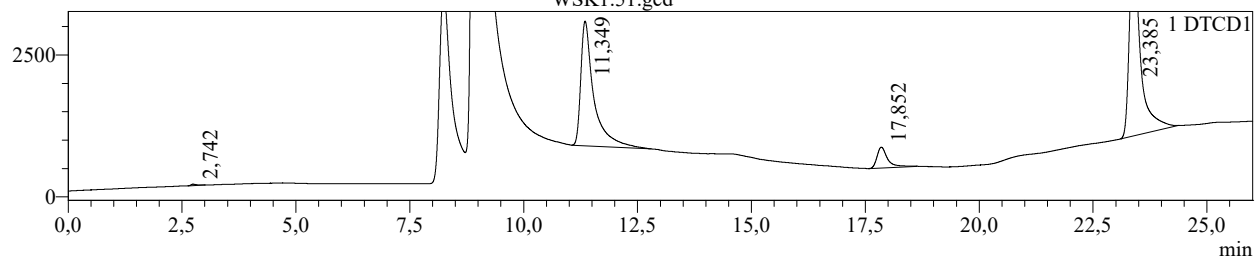
Chromatogram

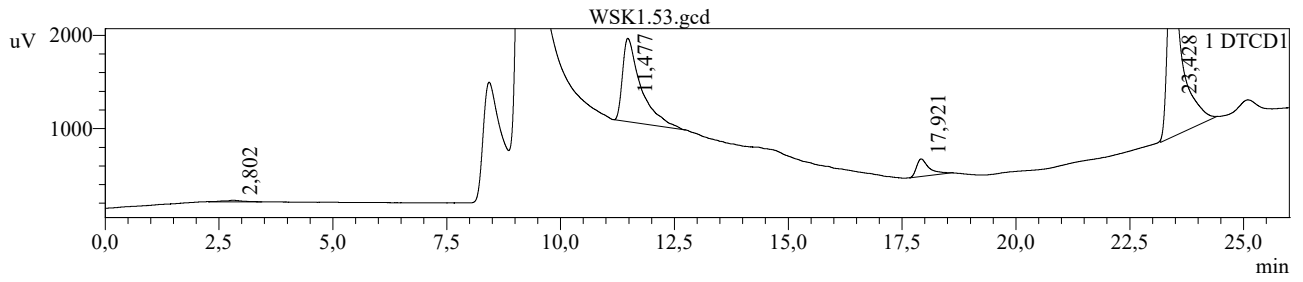
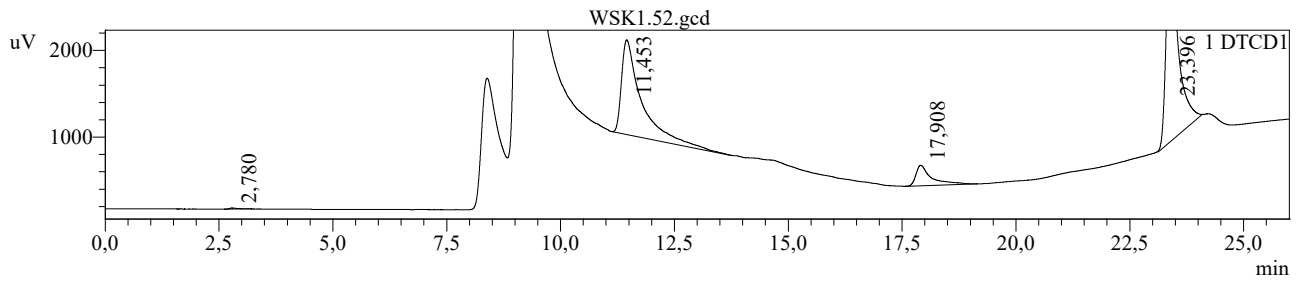
uV



Summary(Compound) WSK1.51.gcd

uV





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

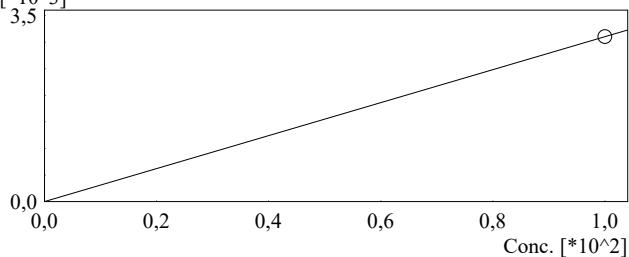
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK1.51.gcd	Aziz	WSK1.51	2,742	210	26	6,771
WSK1.52.gcd	Aziz	WSK1.52	2,780	162	12	5,227
WSK1.53.gcd	Aziz	WSK1.53	2,802	454	18	14,623
Average			2,774	276	18	8,874
%RSD			1,103	56,782	36,747	56,782
Maximum			2,802	454	26	14,623
Minimum			2,742	162	12	5,227
Standard Deviation			0,031	157	7	5,039

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

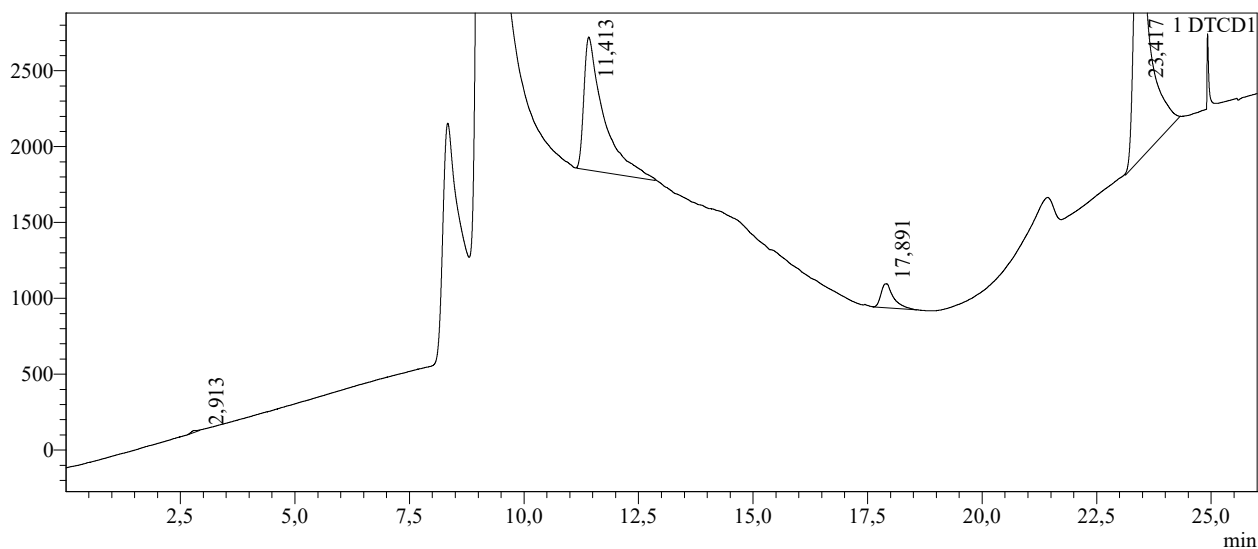
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



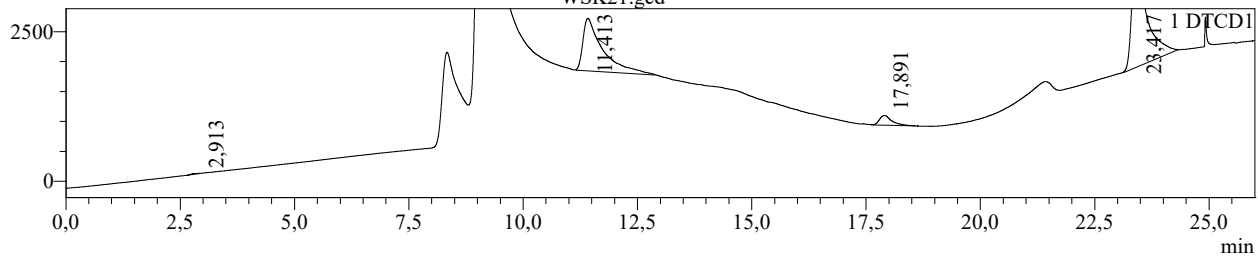
Chromatogram

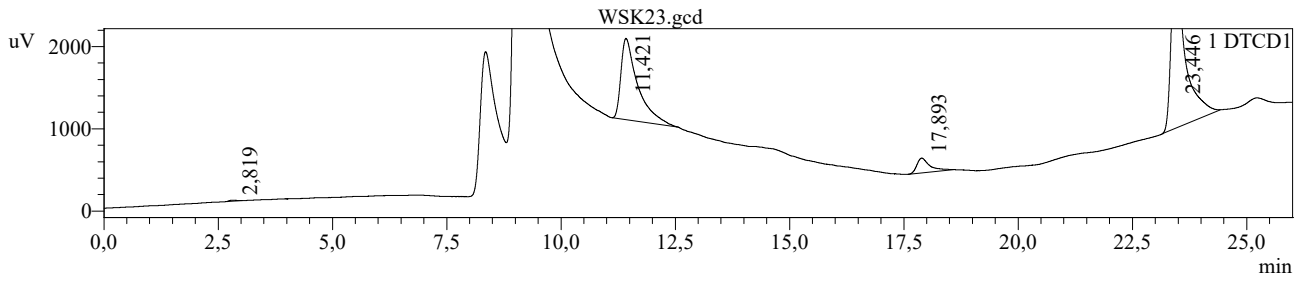
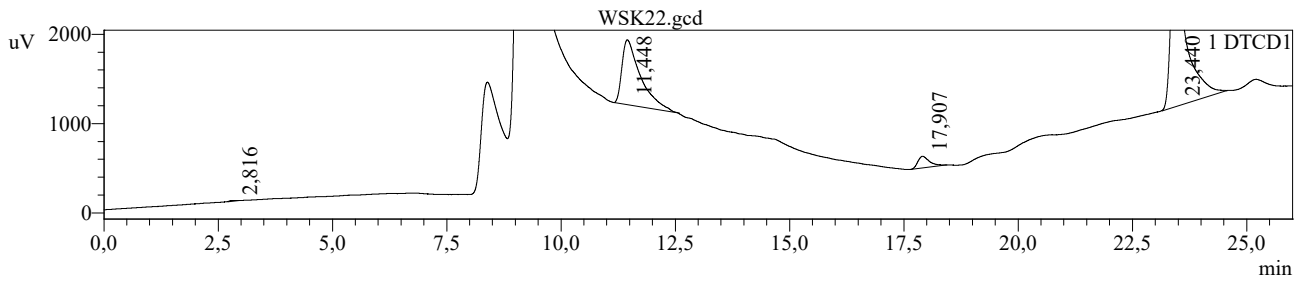
uV



Summary(Compound) WSK21.gcd

uV





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: HYDROGEN

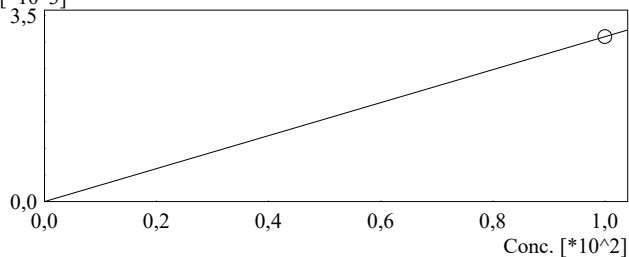
Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK21.gcd	Aziz	WSK21	2,913	121	3	3,906
WSK22.gcd	Aziz	WSK22	2,816	80	9	2,585
WSK23.gcd	Aziz	WSK23	2,819	118	11	3,810
Average			2,849	107	7	3,434
%RSD			1,936	21,455	57,614	21,455
Maximum			2,913	121	11	3,906
Minimum			2,816	80	3	2,585
Standard Deviation			0,055	23	4	0,737

Calibration Curve

ID# : 1
 Name : HYDROGEN
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=31,0628*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,106279e+001 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

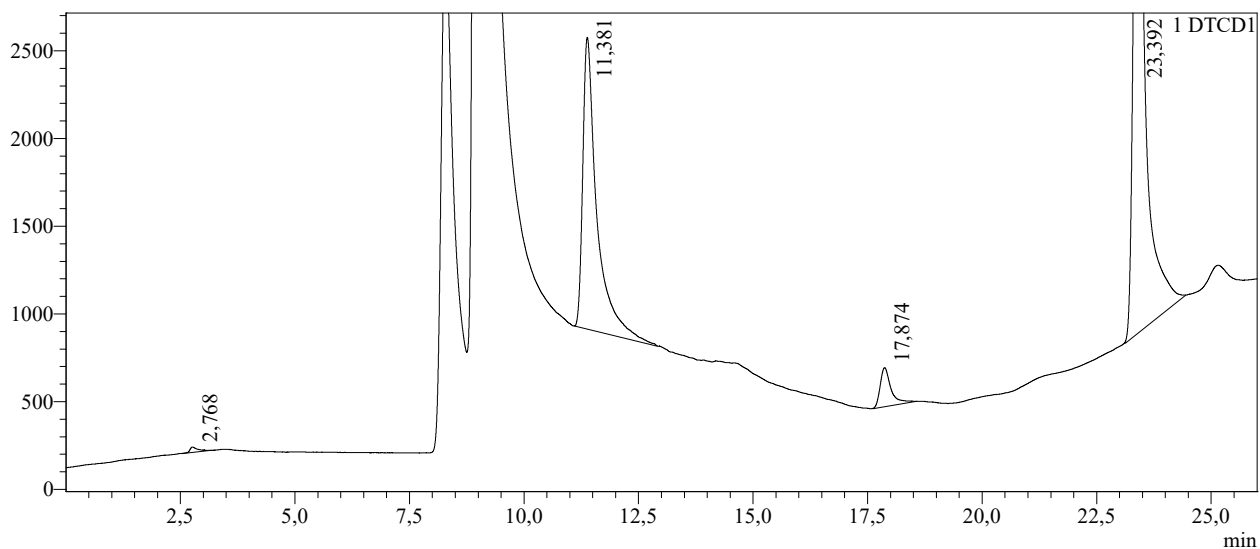
Area
[*10³]

#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,99	3106	3106



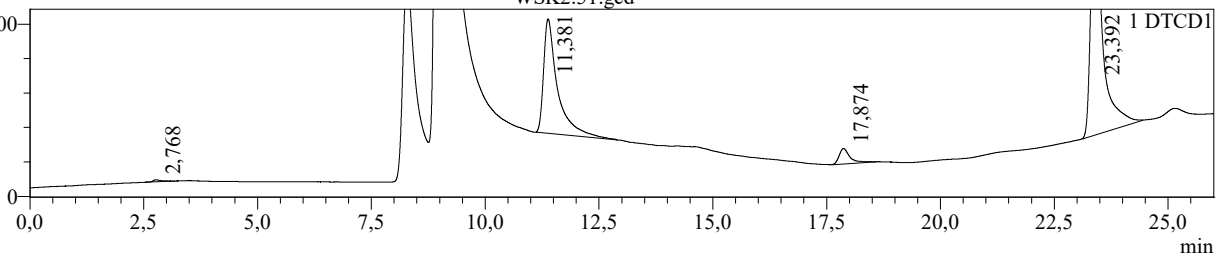
Chromatogram

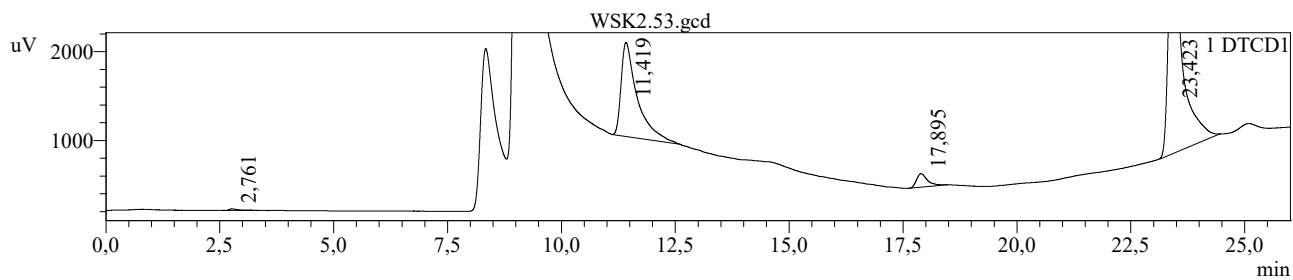
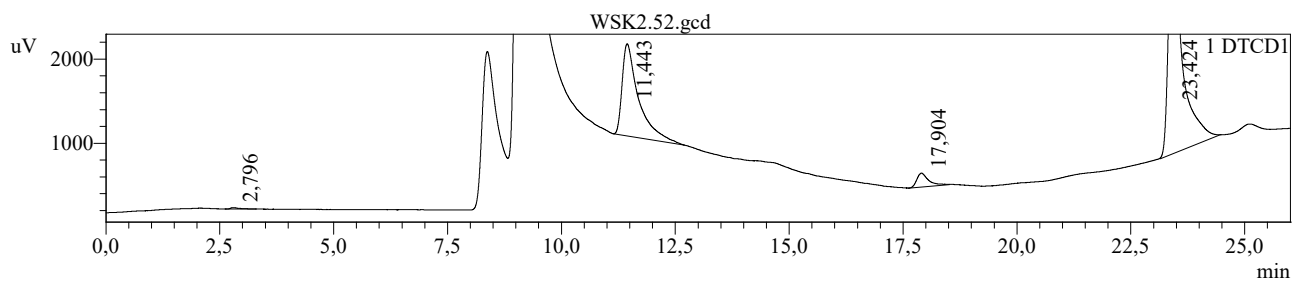
uV



Summary(Compound) WSK2.51.gcd

uV





<< DTCD1 >>

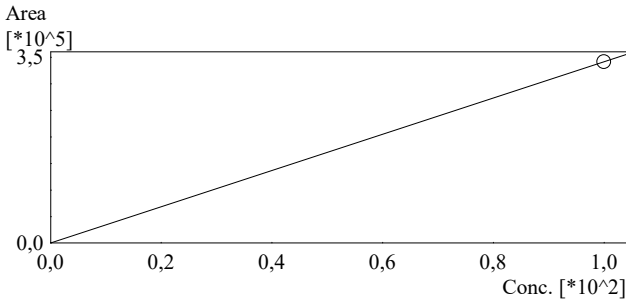
ID#1 Compound Name: HYDROGEN

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK2.51.gcd	Aziz	WSK2.51	2,768	379	30	12,187
WSK2.52.gcd	Aziz	WSK2.52	2,796	236	18	7,598
WSK2.53.gcd	Aziz	WSK2.53	2,761	264	18	8,492
Average			2,775	293	22	9,426
%RSD			0,665	25,807	33,301	25,807
Maximum			2,796	379	30	12,187
Minimum			2,761	236	18	7,598
Standard Deviation			0,018	76	7	2,432

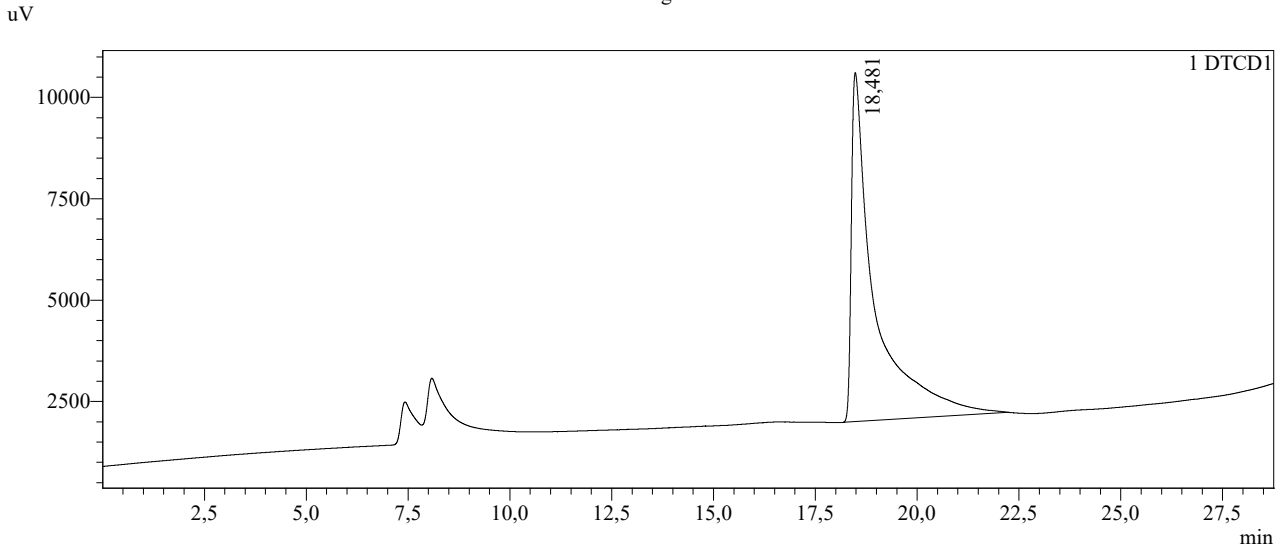
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

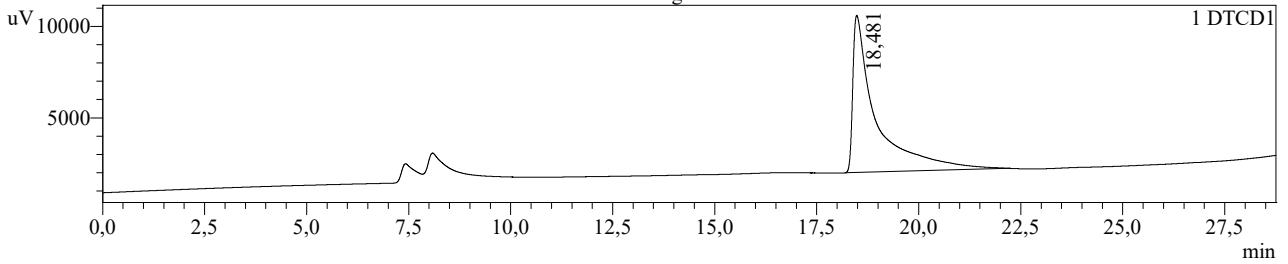
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525



Chromatogram



Summary(Compound)
STD CH4.gcd



<< DTCD1 >>

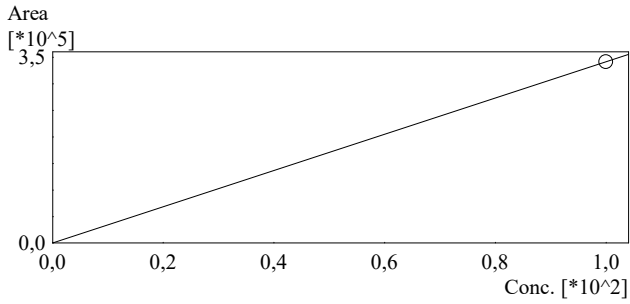
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
STD CH4.gcd	STD CH4	STD Methane	18,481	341525	8601	99,950
Average			18,481	341525	8601	99,950
%RSD			0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum			18,481	341525	8601	99,950
Minimum			18,481	341525	8601	99,950
Standard Deviation			0,000	0	0	0,000

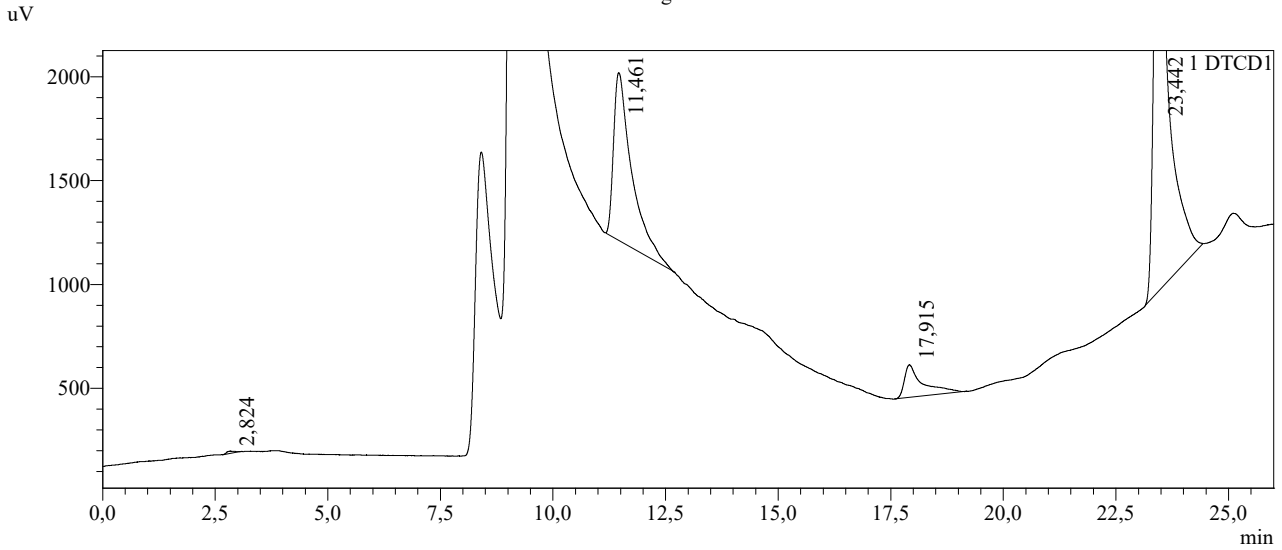
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

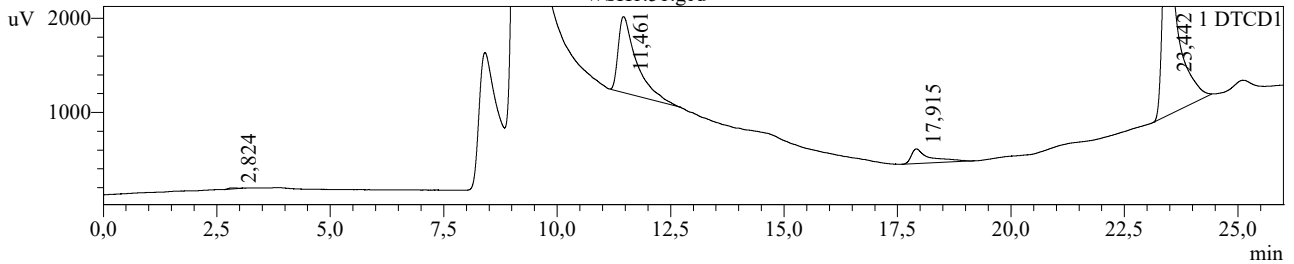
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

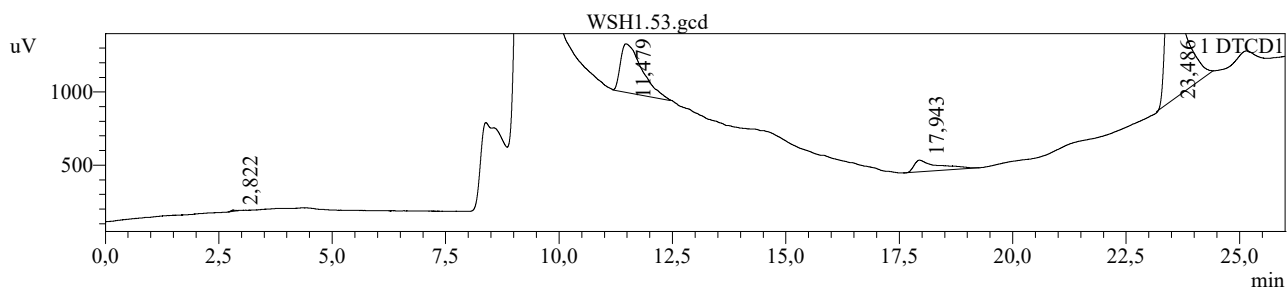
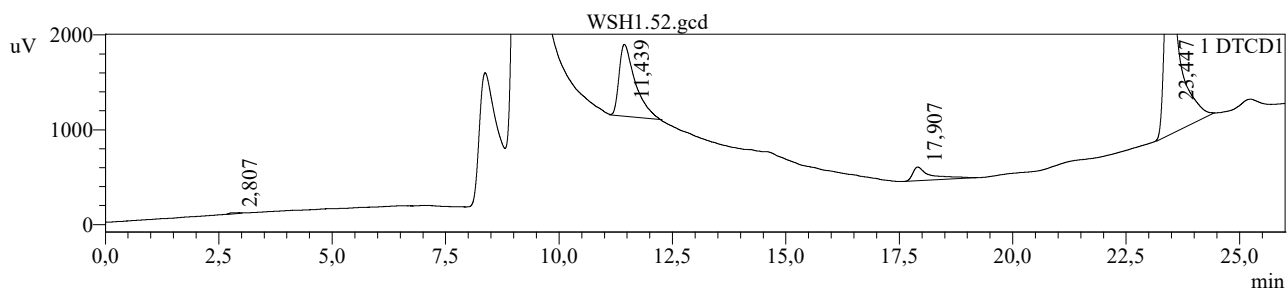


Chromatogram



Summary(Compound) WSH1.51.gcd





<< DTCD1 >>

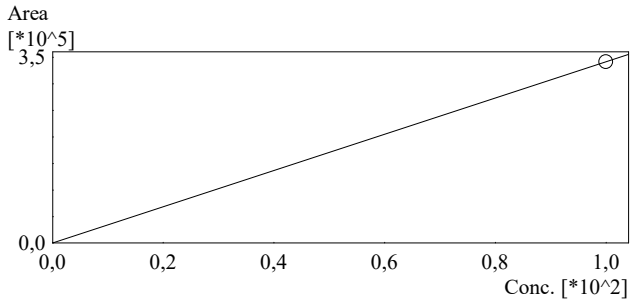
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH1.51.gcd	Aziz	WSH1.51	17,915	4449	157	1,302
WSH1.52.gcd	Aziz	WSH1.52	17,907	4006	145	1,172
WSH1.53.gcd	Aziz	WSH1.53	17,943	2903	80	0,850
Average			17,922	3786	128	1,108
%RSD			0,107	21,022	32,516	21,022
Maximum			17,943	4449	157	1,302
Minimum			17,907	2903	80	0,850
Standard Deviation			0,019	796	41	0,233

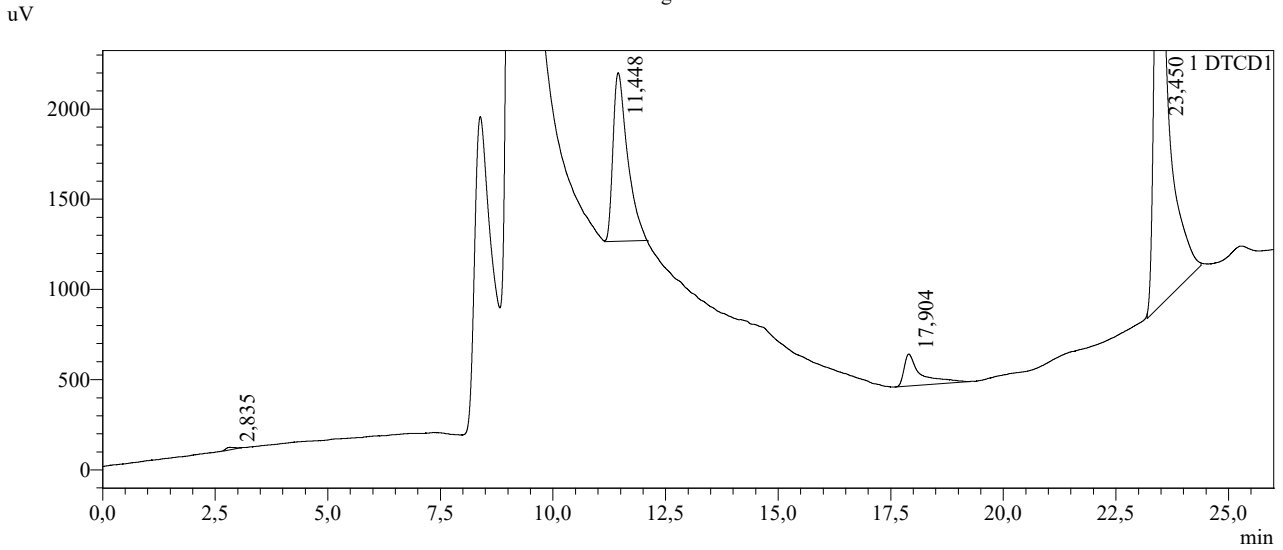
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

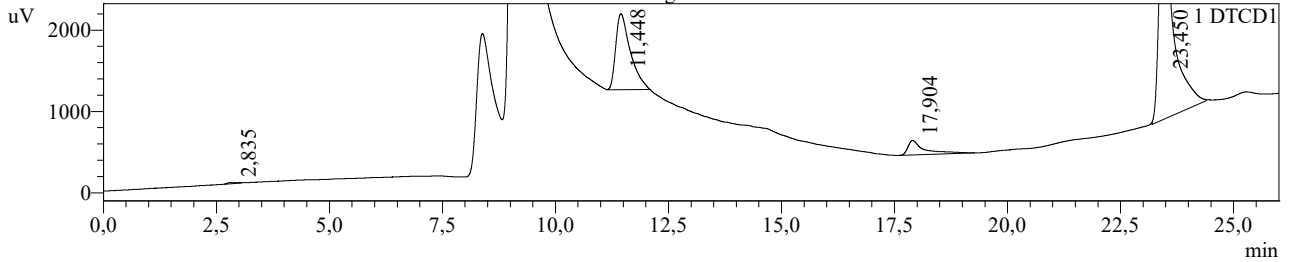
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

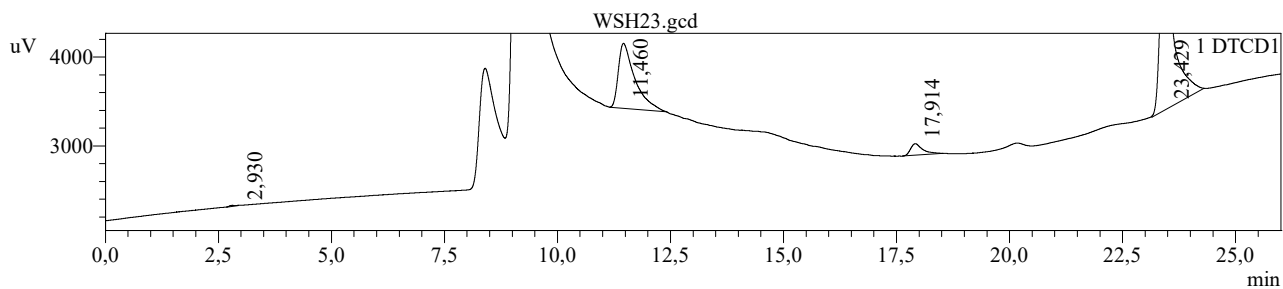
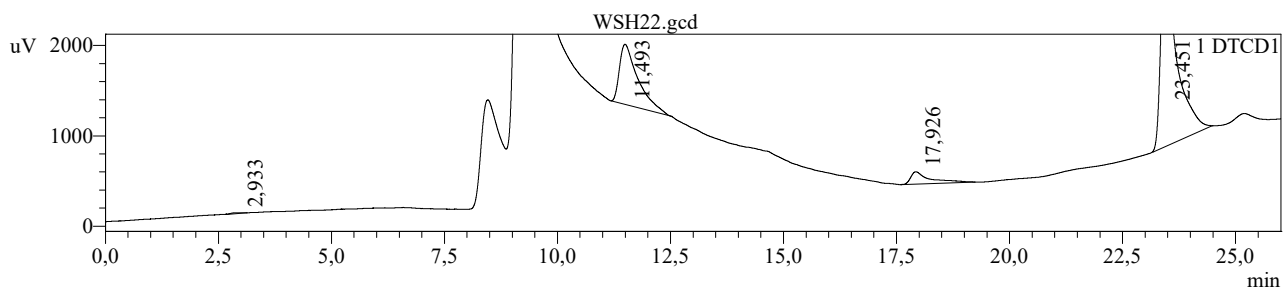


Chromatogram



Summary(Compound) WSH21.gcd





<< DTCD1 >>

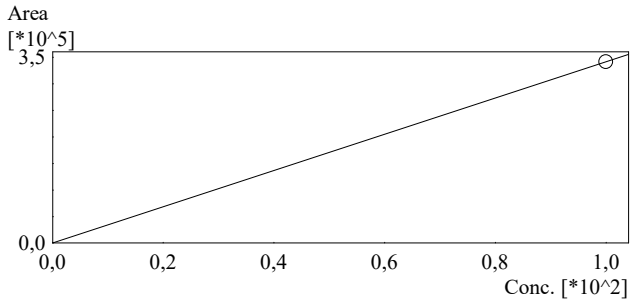
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH21.gcd	Aziz	WSH21	17,904	4596	178	1,345
WSH22.gcd	Aziz	WSH22	17,926	4045	136	1,184
WSH23.gcd	Aziz	WSH23	17,914	2410	130	0,705
Average			17,914	3683	148	1,078
%RSD			0,062	30,867	17,614	30,867
Maximum			17,926	4596	178	1,345
Minimum			17,904	2410	130	0,705
Standard Deviation			0,011	1137	26	0,333

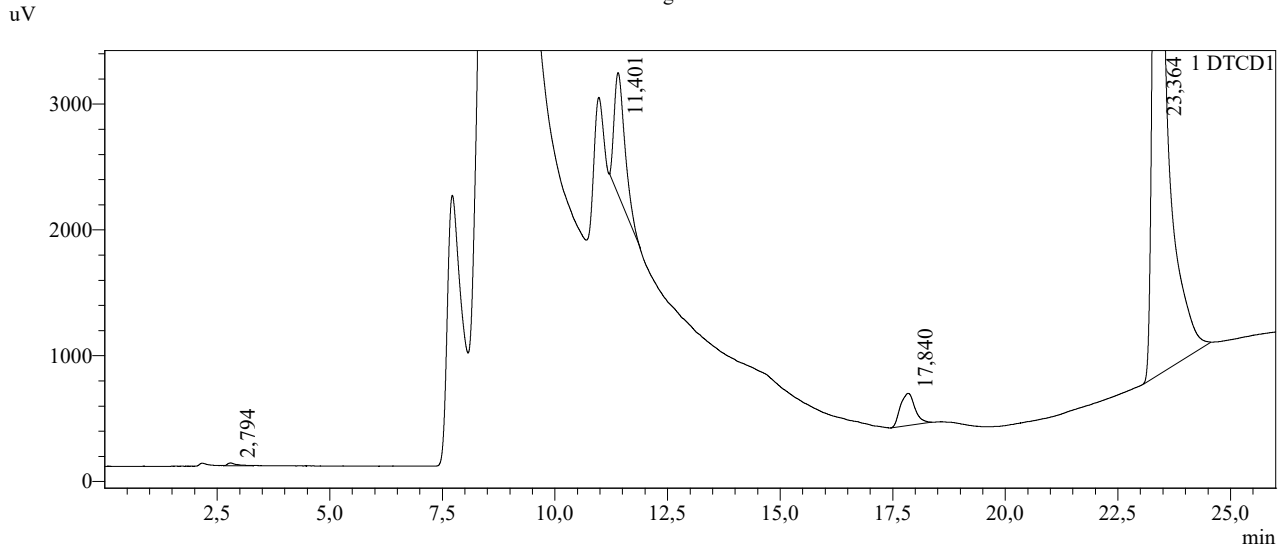
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

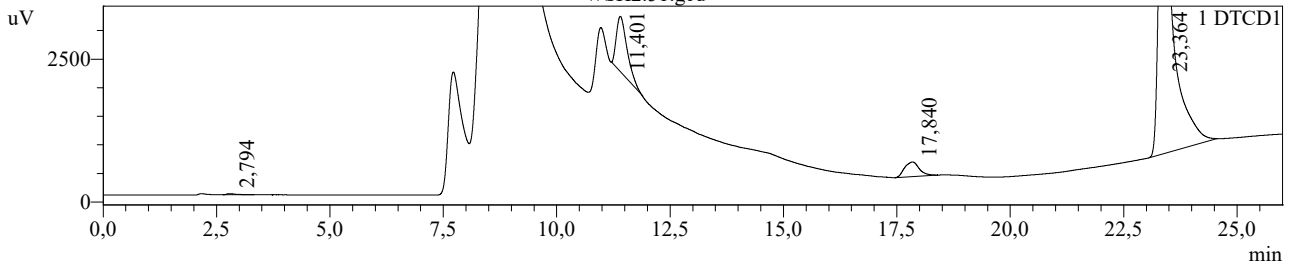
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

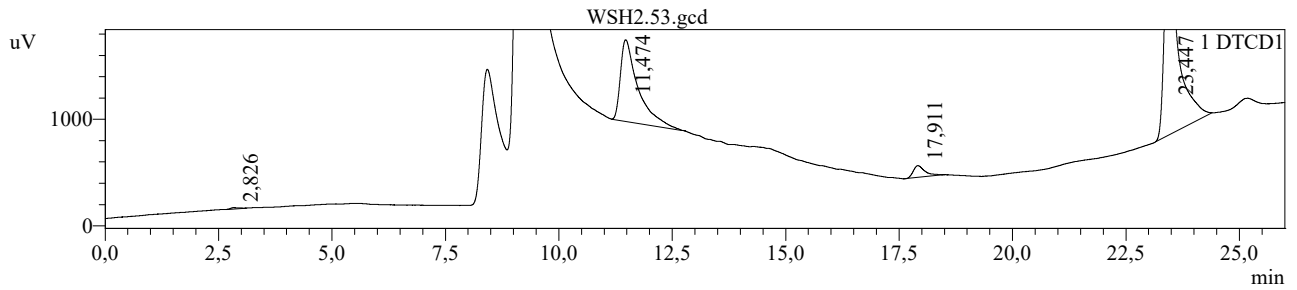
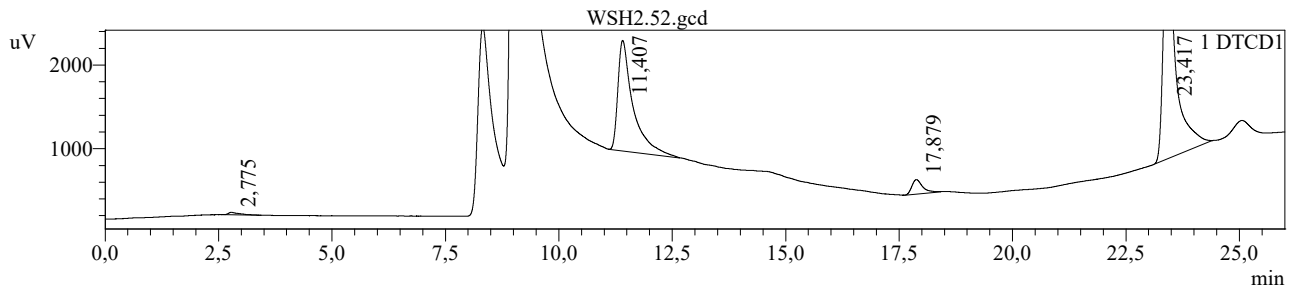


Chromatogram



Summary(Compound) WSH2.51.gcd





<< DTCD1 >>

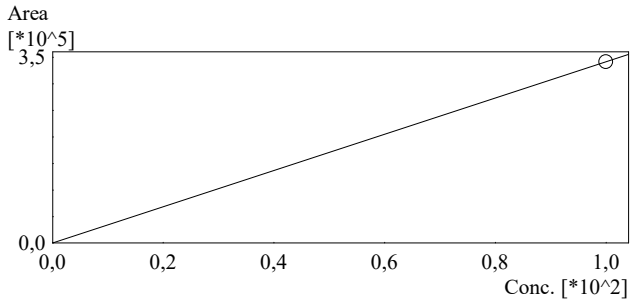
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSH2.51.gcd	Aziz	WSH2.51	17,840	5745	256	1,681
WSH2.52.gcd	Aziz	WSH2.52	17,879	2826	173	0,827
WSH2.53.gcd	Aziz	WSH2.53	17,911	1972	110	0,577
Average			17,876	3515	180	1,029
%RSD			0,197	56,301	40,771	56,301
Maximum			17,911	5745	256	1,681
Minimum			17,840	1972	110	0,577
Standard Deviation			0,035	1979	73	0,579

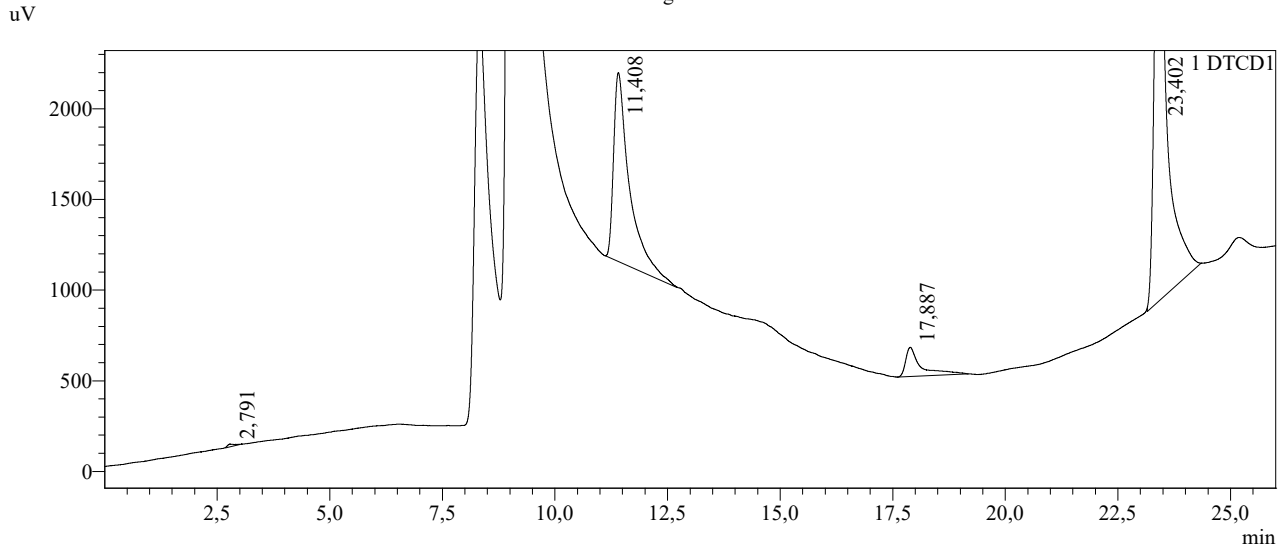
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

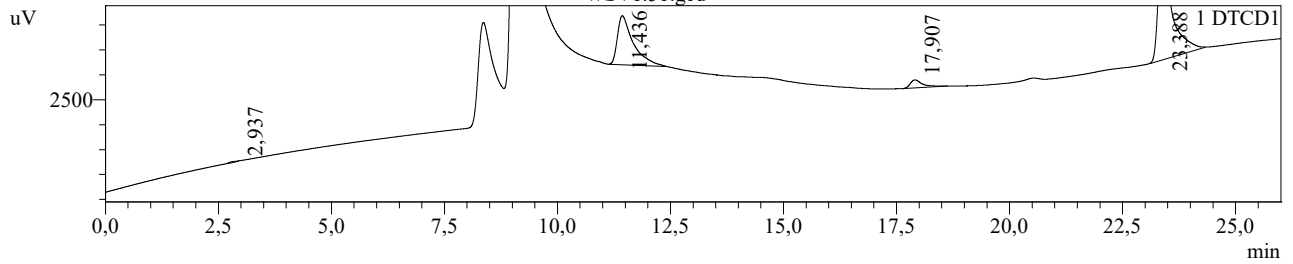
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

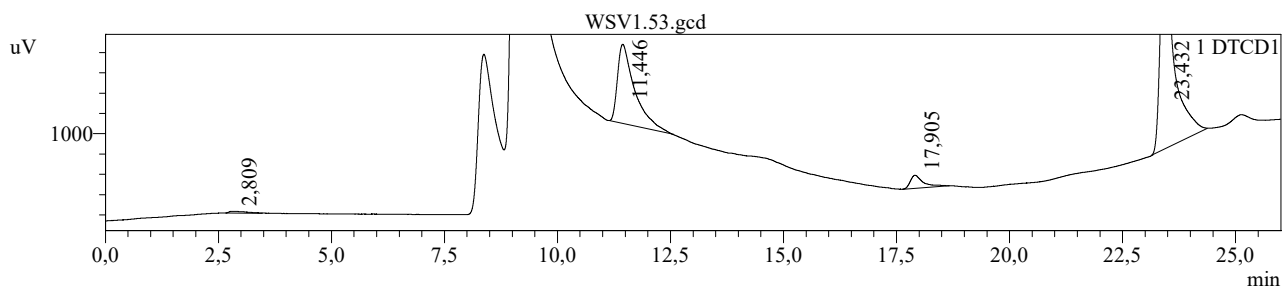
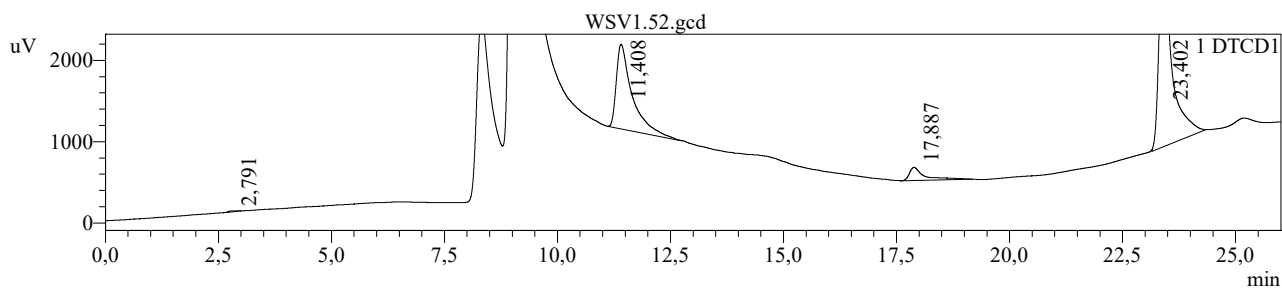


Chromatogram



Summary(Compound) WSV1.51.gcd





<< DTCD1 >>

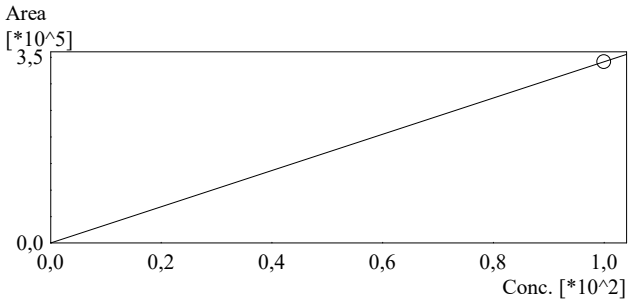
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV1.51.gcd	Aziz	WSV1.51	17,907	2986	161	0,874
WSV1.52.gcd	Aziz	WSV1.52	17,887	3775	161	1,105
WSV1.53.gcd	Aziz	WSV1.53	17,905	2512	128	0,735
Average			17,900	3091	150	0,905
%RSD			0,062	20,639	12,796	20,639
Maximum			17,907	3775	161	1,105
Minimum			17,887	2512	128	0,735
Standard Deviation			0,011	638	19	0,187

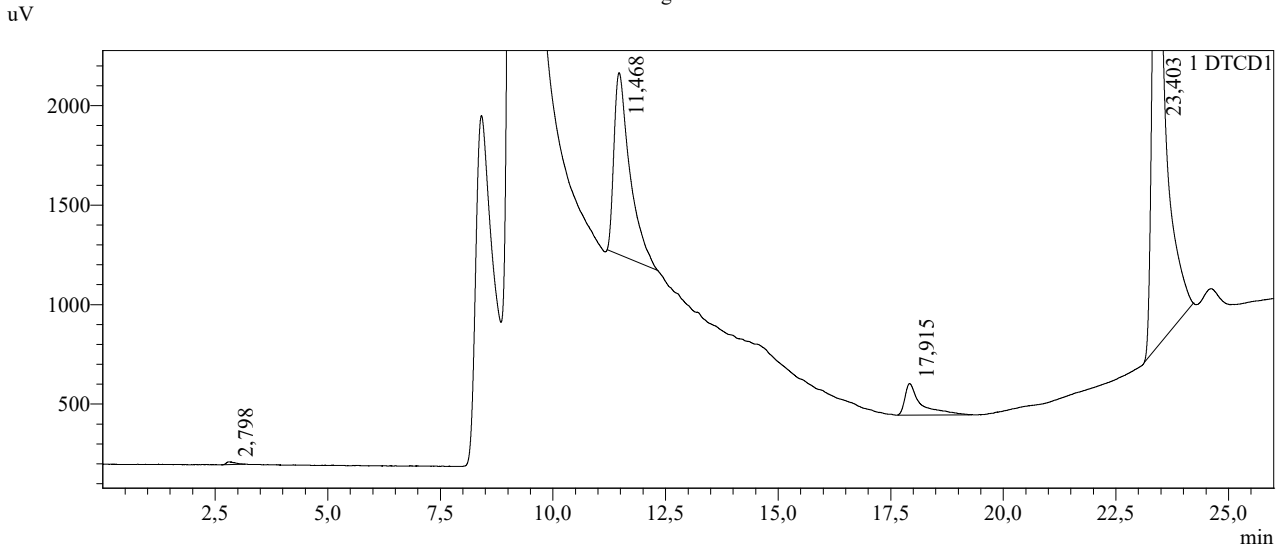
Calibration Curve

ID# : 1
Name : CH4
Quantitative Method : External Standard
Function : $f(x)=3416,96*x+0$
Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
FitType : Linear
ZeroThrough : Not Through
Weighted Regression : None
Detector Name : DTCD1

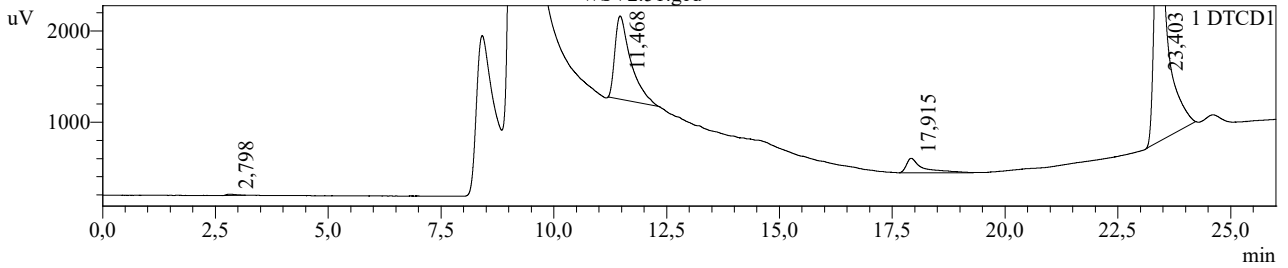
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

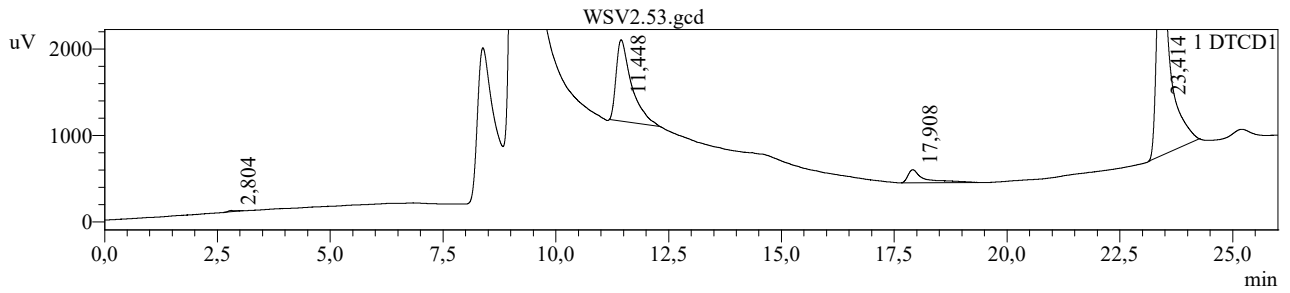
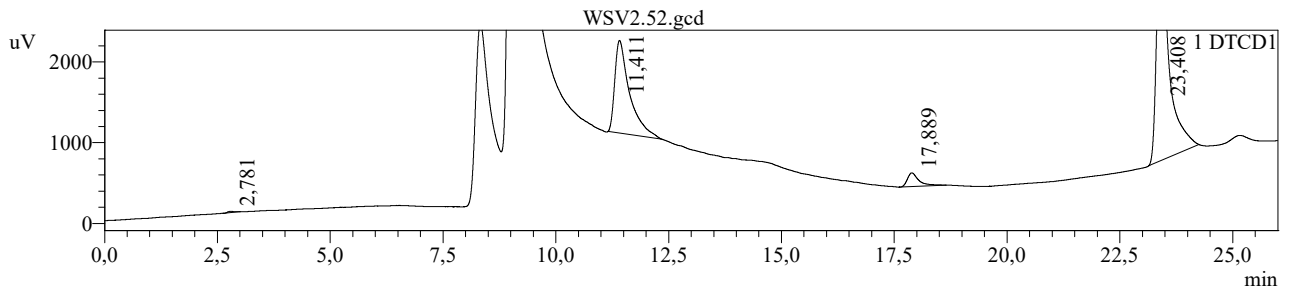


Chromatogram



Summary(Compound)
WSV2.51.gcd





<< DTCD1 >>

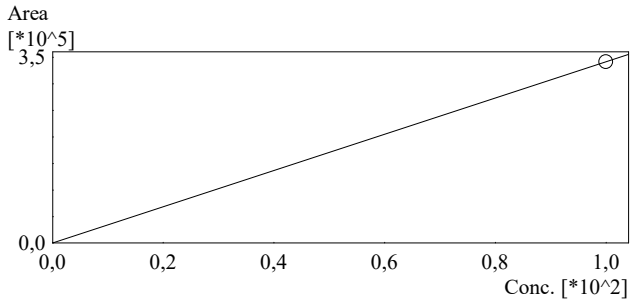
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV2.51.gcd	Aziz	WSV2.51	17,915	4008	159	1,173
WSV2.52.gcd	Aziz	WSV2.52	17,889	3016	171	0,883
WSV2.53.gcd	Aziz	WSV2.53	17,908	3785	152	1,108
Average			17,904	3603	160	1,054
%RSD			0,077	14,448	6,014	14,448
Maximum			17,915	4008	171	1,173
Minimum			17,889	3016	152	0,883
Standard Deviation			0,014	521	10	0,152

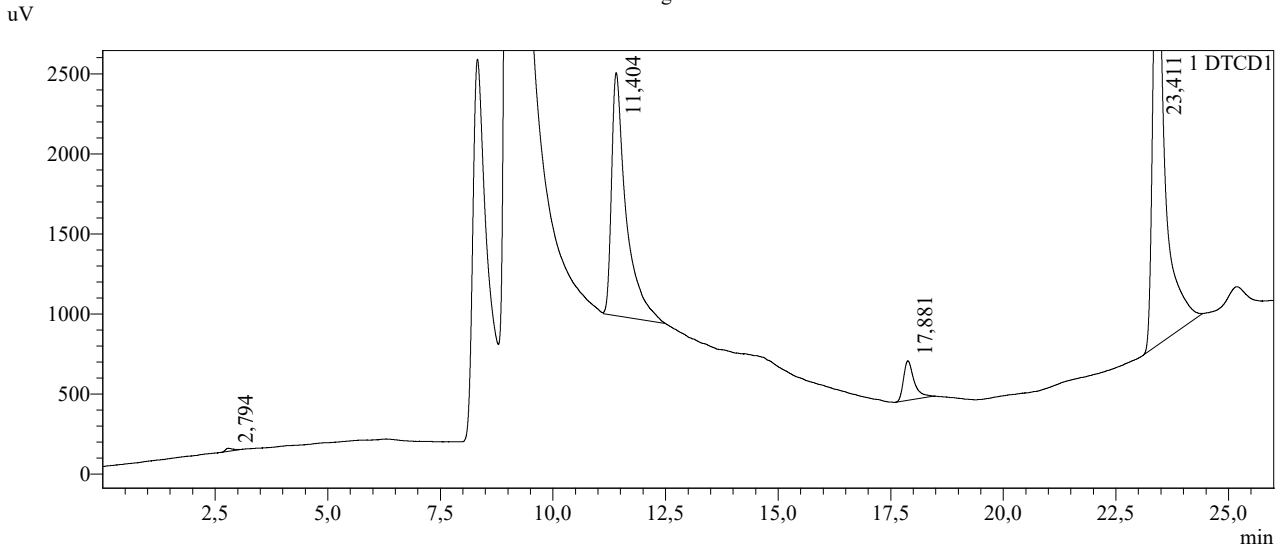
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

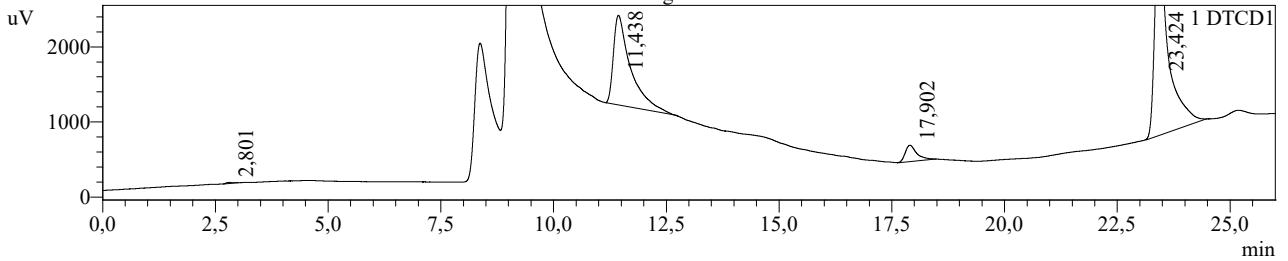
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

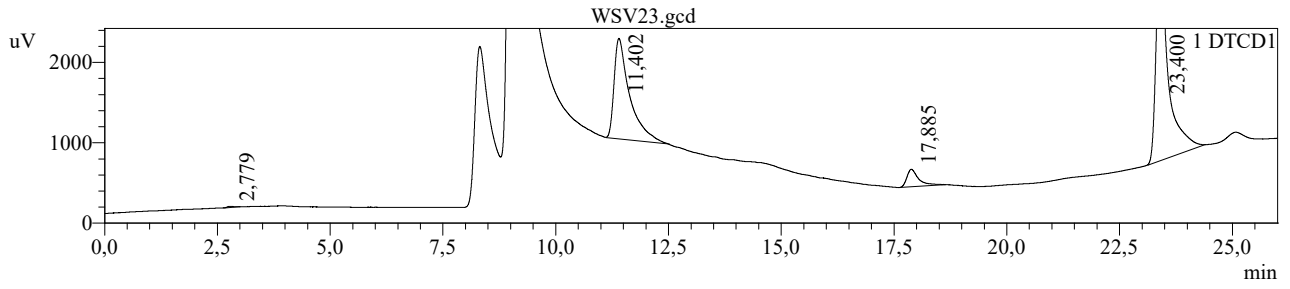
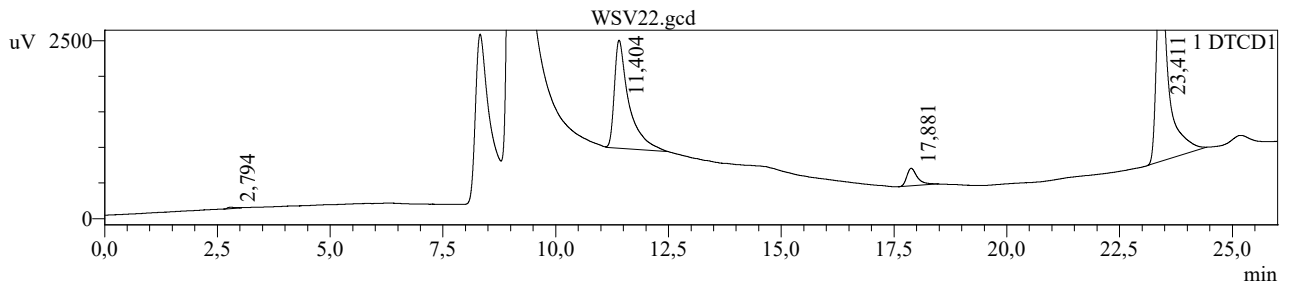


Chromatogram



Summary(Compound)
WSV21.gcd





<< DTCD1 >>

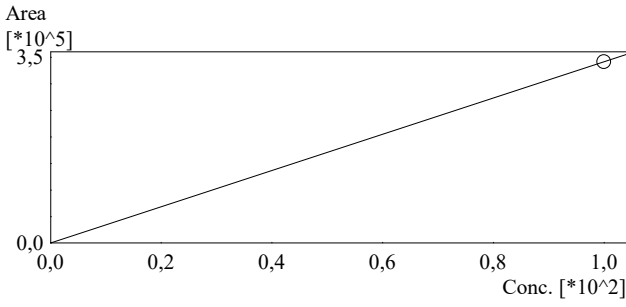
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSV21.gcd	Aziz	WSV21	17,902	3900	218	1,141
WSV22.gcd	Aziz	WSV22	17,881	4051	247	1,186
WSV23.gcd	Aziz	WSV23	17,885	3909	218	1,144
Average			17,889	3953	228	1,157
%RSD			0,063	2,143	7,432	2,143
Maximum			17,902	4051	247	1,186
Minimum			17,881	3900	218	1,141
Standard Deviation			0,011	85	17	0,025

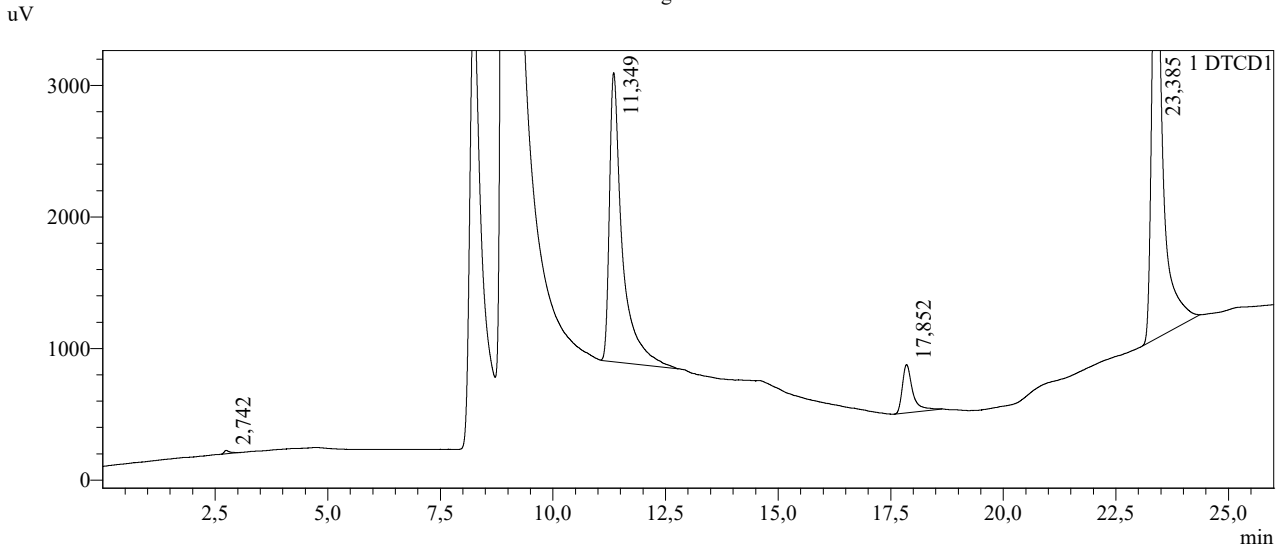
Calibration Curve

ID# : 1
Name : CH4
Quantitative Method : External Standard
Function : $f(x)=3416,96*x+0$
Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
FitType : Linear
ZeroThrough : Not Through
Weighted Regression : None
Detector Name : DTCD1

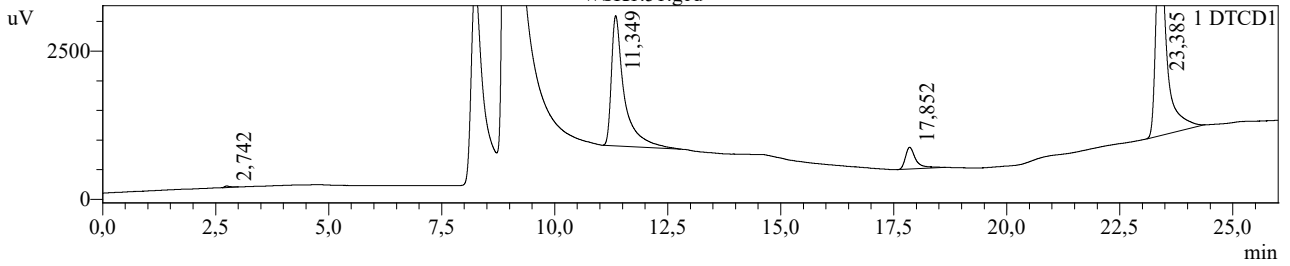
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

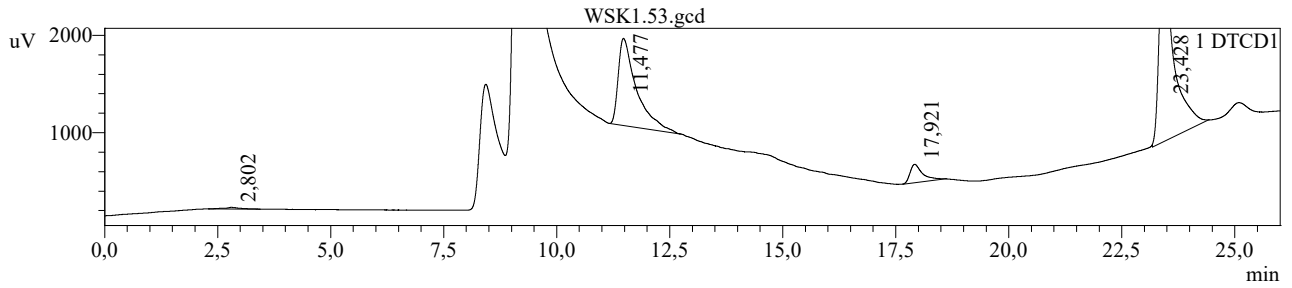
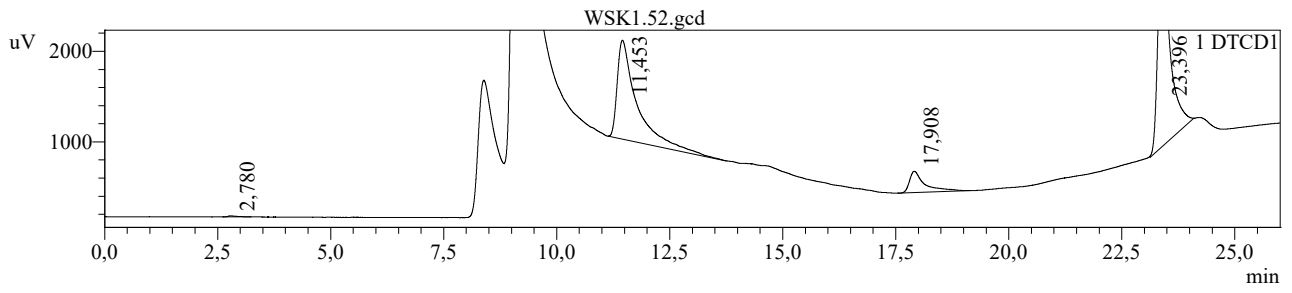


Chromatogram



Summary(Compound)
WSK1.51.gcd





<< DTCD1 >>

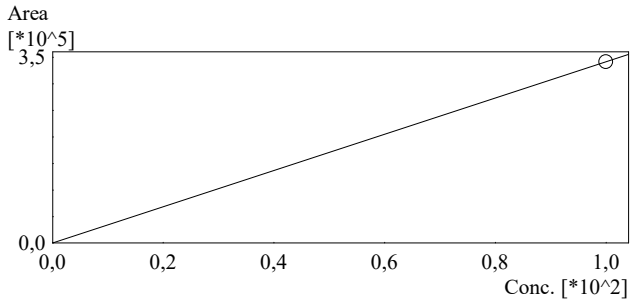
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK1.51.gcd	Aziz	WSK1.51	17,852	5869	367	1,718
WSK1.52.gcd	Aziz	WSK1.52	17,908	5668	236	1,659
WSK1.53.gcd	Aziz	WSK1.53	17,921	3663	189	1,072
Average			17,894	5067	264	1,483
%RSD			0,204	24,071	34,882	24,071
Maximum			17,921	5869	367	1,718
Minimum			17,852	3663	189	1,072
Standard Deviation			0,036	1220	92	0,357

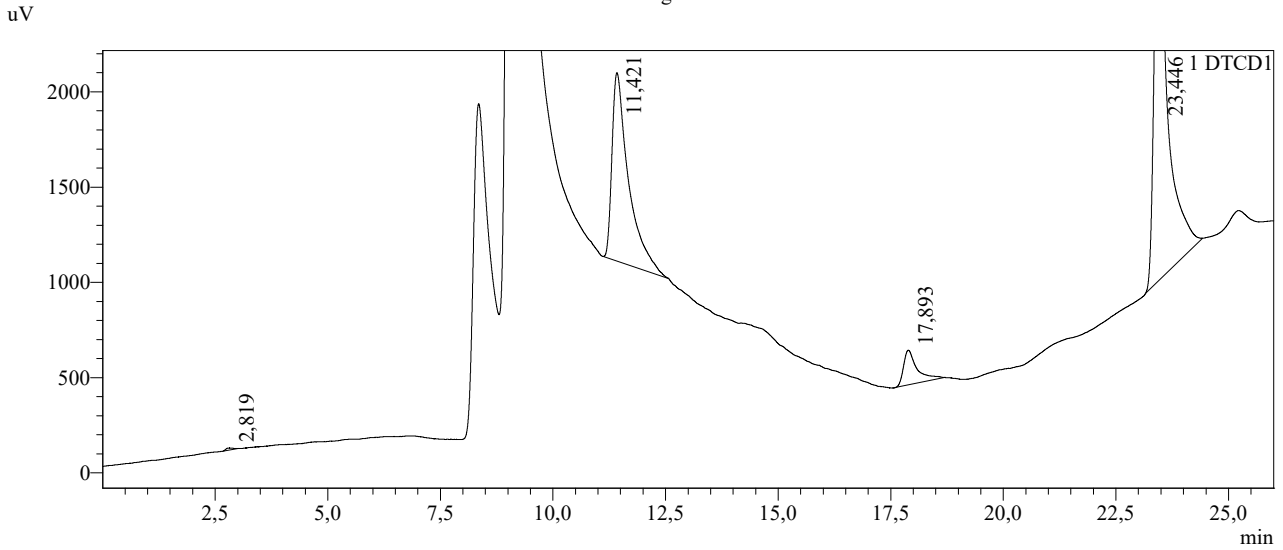
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

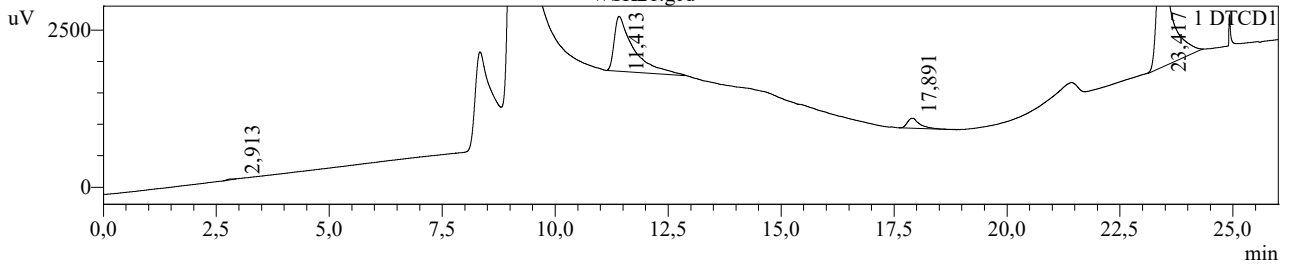
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

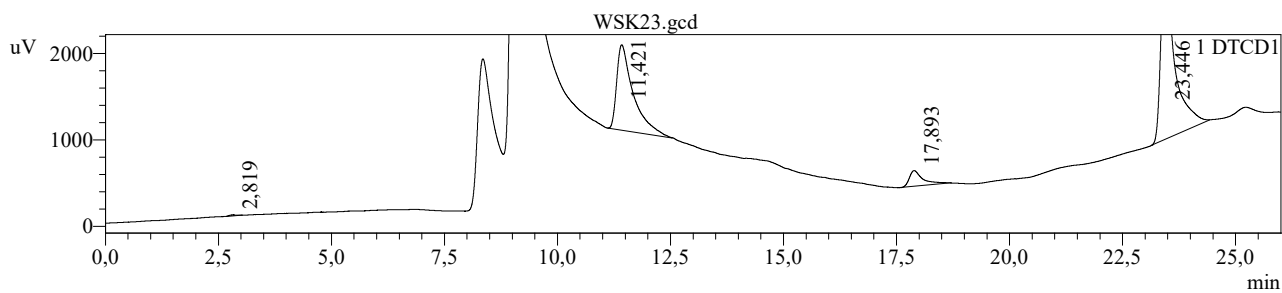
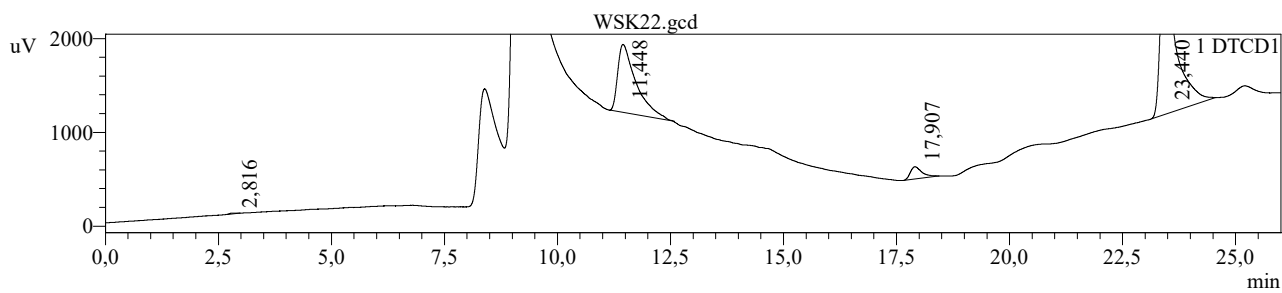


Chromatogram



Summary(Compound) WSK21.gcd





<< DTCD1 >>

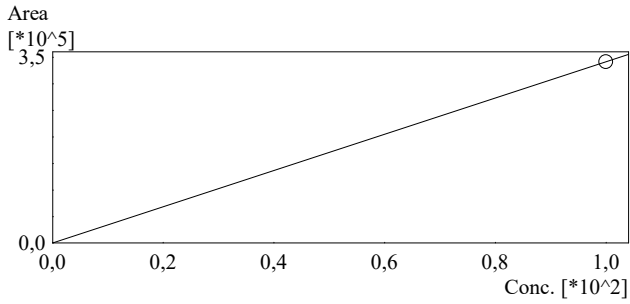
ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK21.gcd	Aziz	WSK21	17,891	3003	158	0,879
WSK22.gcd	Aziz	WSK22	17,907	2339	131	0,685
WSK23.gcd	Aziz	WSK23	17,893	3787	182	1,108
Average			17,897	3043	157	0,890
%RSD			0,049	23,813	16,073	23,813
Maximum			17,907	3787	182	1,108
Minimum			17,891	2339	131	0,685
Standard Deviation			0,009	725	25	0,212

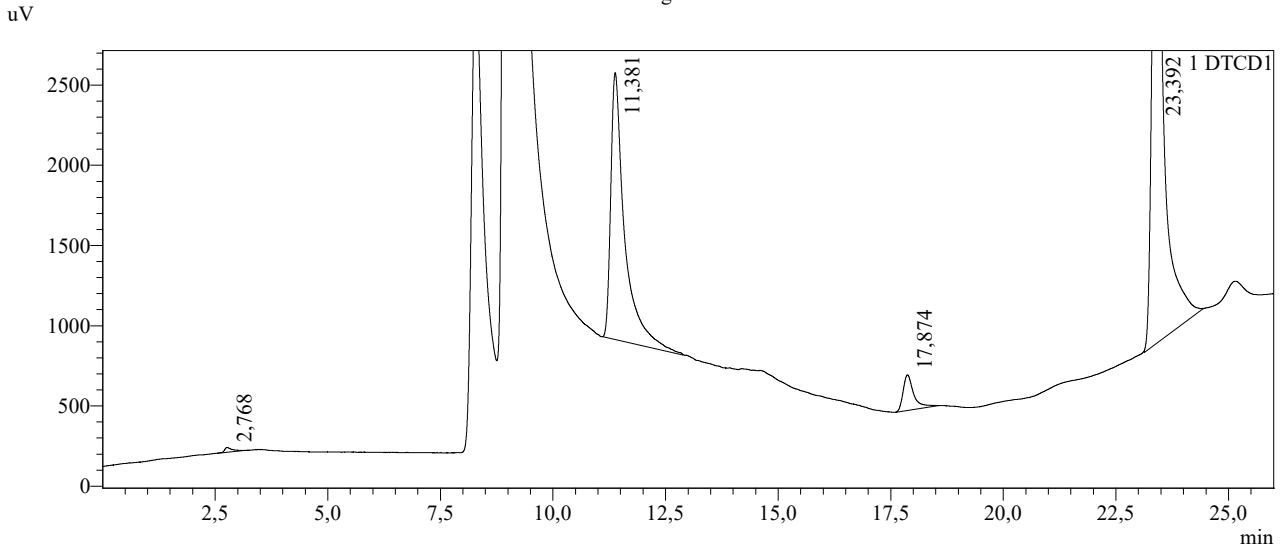
Calibration Curve

ID# : 1
 Name : CH4
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=3416,96*x+0$
 Rr1=1,000000 Rr2=1,000000 RSS=0,000000e+00
 MeanRF: 3,416962e+003 RFSD: 0,000000e+00 RFRSD: 0,000000
 FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 Weighted Regression : None
 Detector Name : DTCD1

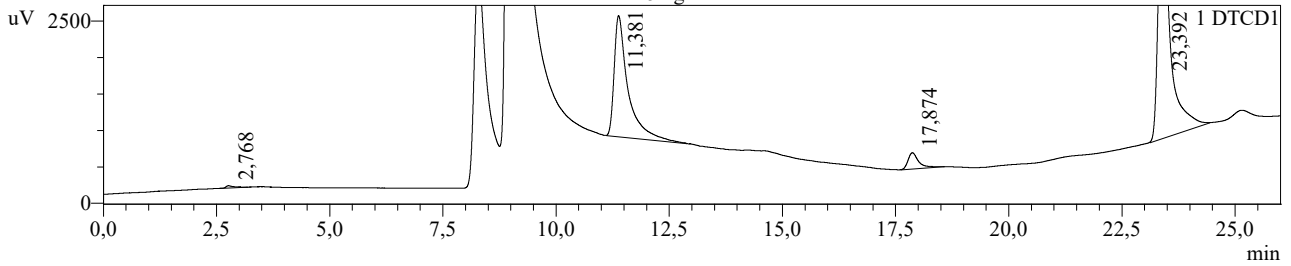
#	Conc.(Ratio)	MeanArea	Area
1	99,95	341525	341525

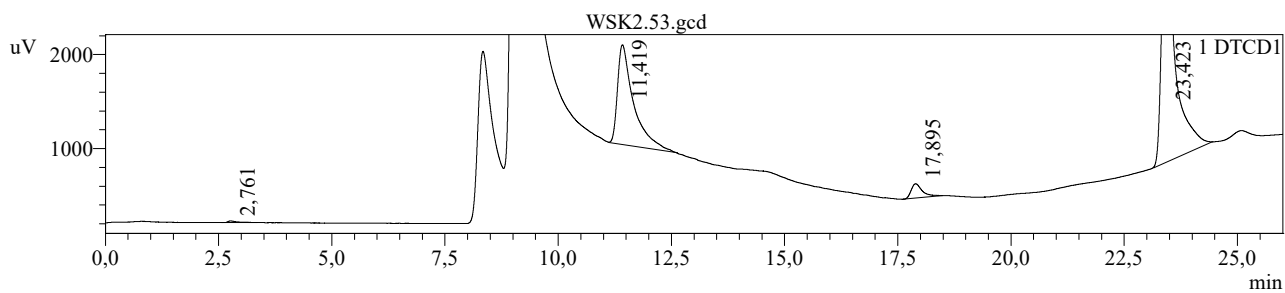
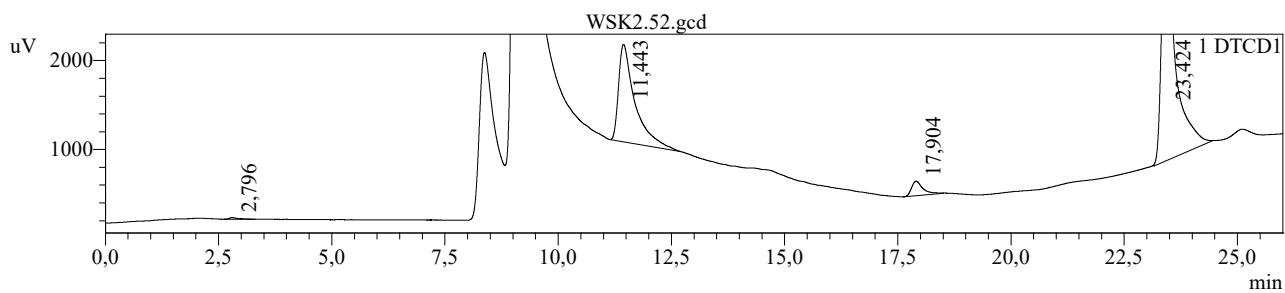


Chromatogram



Summary(Compound) WSK2.51.gcd





<< DTCD1 >>

ID#1 Compound Name: CH4

Title	Sample Name	Sample ID	Ret. Time	Area	Height	Conc.
WSK2.51.gcd	Aziz	WSK2.51	17,874	3670	223	1,074
WSK2.52.gcd	Aziz	WSK2.52	17,904	2898	164	0,848
WSK2.53.gcd	Aziz	WSK2.53	17,895	2591	152	0,758
Average			17,891	3053	180	0,893
%RSD			0,086	18,209	21,071	18,209
Maximum			17,904	3670	223	1,074
Minimum			17,874	2591	152	0,758
Standard Deviation			0,015	556	38	0,163