

LAPORAN BENCHMARKING

Kunjungan Akademik ke University of Warwick, United Kingdom

Penguatan Riset Sensor Gas, Artificial Olfaction, dan Kolaborasi Internasional



Waktu Pelaksanaan	10-18 Juli 2025
Tempat	University of Warwick, Coventry, United Kingdom
Peserta	Prof. Dr. Tien Aminatun; Dr. Pujiyanto; Dyah Kurniawati Agustika, Ph.D.
Mitra/Tuan Rumah	Professor James Covington, School of Engineering, University of Warwick
Fokus Kegiatan	Benchmarking laboratorium sensor gas, electronic nose, robotic sensor, GC-MS, dan peninjauan proposal ISPF

Disusun untuk keperluan pelaporan kegiatan benchmarking dan pengembangan kerja sama internasional

DAFTAR ISI

A. Ringkasan Eksekutif	3
B. Identitas Kegiatan	3
C. Latar Belakang	4
D. Tujuan Kegiatan	4
E. Profil Mitra: Professor James Covington dan Biomedical Sensors Laboratory	5
F. Deskripsi Pelaksanaan Kegiatan	6
G. Fasilitas dan Teknologi yang Diamati	10
H. Hasil Benchmarking dan Pembelajaran Utama	11
I. Analisis Relevansi bagi Pengembangan Institusi	12
J. Rencana Tindak Lanjut dan Pengajuan Proposal ISPF	12
K. Indikator Keberhasilan dan Luaran	13
L. Rekomendasi	14
M. Kesimpulan	15
N. Daftar Referensi	16

A. RINGKASAN EKSEKUTIF

Kegiatan benchmarking ke University of Warwick, United Kingdom, dilaksanakan pada 10-18 Juli 2025 sebagai bagian dari upaya penguatan kapasitas akademik, riset, dan kerja sama internasional. Kegiatan ini diikuti oleh Prof. Dr. Tien Aminatun, Dr. Pujiyanto, dan Dyah Kurniawati Agustika, Ph.D. Selama kunjungan, tim memperoleh kesempatan untuk melakukan diskusi akademik, observasi fasilitas riset, serta peninjauan kerja sama dengan Professor James Covington dari School of Engineering, University of Warwick.

Fokus utama kegiatan adalah mempelajari pengelolaan riset sensor gas dan artificial olfaction, termasuk electronic nose, sensor gas, robotic sensor, dan instrumentasi analisis seperti GC-MS. Kunjungan ini memberikan gambaran tentang bagaimana riset sensor dikembangkan secara terintegrasi, mulai dari desain sensor, sistem sampling, akuisisi data, validasi kimia, hingga analisis data menggunakan pendekatan statistik, chemometrics, dan machine learning.

Salah satu luaran penting dari kegiatan ini adalah terbukanya peluang kerja sama riset antara institusi asal dan University of Warwick. Di sela-sela kegiatan, tim dan mitra juga menyepakati arah awal untuk mengajukan proposal kolaboratif melalui skema International Science Partnerships Fund atau ISPF. Rencana ini dinilai strategis karena dapat menjadi dasar kerja sama jangka menengah dalam bidang sensor gas, deteksi senyawa volatil, pertanian presisi, pemantauan lingkungan, keamanan pangan, dan potensi aplikasi kesehatan.

Secara umum, kegiatan benchmarking ini memberikan manfaat yang signifikan, baik dalam bentuk peningkatan wawasan peserta, penguatan jejaring akademik internasional, identifikasi praktik baik pengelolaan laboratorium, maupun penyusunan rencana tindak lanjut kolaborasi. Hasil pembelajaran dari University of Warwick diharapkan dapat diadaptasi untuk memperkuat kapasitas riset, pembelajaran, dan pengembangan laboratorium di Indonesia.

B. IDENTITAS KEGIATAN

Nama kegiatan	Benchmarking dan kunjungan akademik ke University of Warwick, United Kingdom
Tanggal pelaksanaan	10-18 Juli 2025
Lokasi kegiatan	University of Warwick, Coventry, United Kingdom
Peserta	Prof. Dr. Tien Aminatun; Dr. Pujiyanto; Dyah Kurniawati Agustika, Ph.D.
Mitra utama	Professor James Covington, School of Engineering, University of Warwick
Unit/fasilitas yang dikunjungi	School of Engineering dan Biomedical Sensors Laboratory, University of Warwick
Fokus benchmarking	Sensor gas, electronic nose, artificial olfaction, robotic sensor, GC-MS, pengelolaan laboratorium, dan pengembangan proposal kolaboratif ISPF
Bentuk kegiatan	Diskusi akademik, kunjungan laboratorium, observasi fasilitas, peninjauan kerja sama riset, dan perumusan tindak lanjut kolaborasi

C. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi sensor, instrumentasi, dan data science telah mendorong munculnya berbagai metode deteksi cepat, portabel, dan non-destruktif. Dalam berbagai bidang, terutama kesehatan, pertanian, lingkungan, pangan, dan industri, kebutuhan terhadap sistem deteksi yang cepat dan akurat semakin meningkat. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah artificial olfaction atau sistem penciuman buatan, yang biasanya diwujudkan dalam bentuk electronic nose dan sistem sensor gas berbasis respons pola.

Electronic nose bekerja dengan meniru prinsip penciuman manusia, yaitu menggunakan sekumpulan sensor untuk menangkap pola respons dari senyawa volatil. Berbeda dengan instrumen analitik seperti GC-MS yang bertujuan mengidentifikasi komponen kimia secara spesifik, electronic nose lebih menekankan pada pengenalan pola atau fingerprint dari sampel. Oleh karena itu, teknologi ini sangat relevan untuk aplikasi klasifikasi, deteksi dini, pemantauan kualitas, dan screening awal.

Dalam konteks pengembangan riset di Indonesia, teknologi sensor gas dan electronic nose memiliki potensi yang sangat besar. Aplikasi pada bidang pertanian, misalnya, dapat diarahkan untuk deteksi dini penyakit tanaman, pemantauan kualitas hasil panen, deteksi pembusukan, dan penyimpanan komoditas. Pada bidang lingkungan, teknologi ini dapat mendukung pemantauan kualitas udara dan deteksi polutan. Pada bidang pangan, electronic nose dapat digunakan untuk quality control, autentikasi produk, dan deteksi kontaminasi. Sementara itu, pada bidang kesehatan, analisis senyawa volatil dari breath, urine, atau sampel biologis lain dapat dikembangkan sebagai pendekatan diagnostik non-invasif.

University of Warwick menjadi mitra yang sangat relevan untuk benchmarking karena memiliki rekam jejak panjang dalam pengembangan sensor, electronic nose, artificial olfaction, dan aplikasi sensor untuk berbagai bidang. School of Engineering, khususnya melalui Biomedical Sensors Laboratory, mengembangkan riset yang menghubungkan desain sensor, instrumentasi, validasi kimia, data processing, dan aplikasi nyata. Oleh karena itu, kunjungan ini menjadi kesempatan penting untuk mempelajari praktik baik yang dapat diterapkan dalam pengembangan laboratorium dan riset di institusi asal.

Selain sebagai kegiatan observasi, benchmarking ini juga dimaksudkan sebagai langkah awal untuk membangun kerja sama riset yang lebih berkelanjutan. Diskusi dengan Professor James Covington membuka peluang penyusunan proposal bersama melalui skema International Science Partnerships Fund atau ISPF, sehingga hasil kunjungan dapat ditindaklanjuti menjadi kolaborasi akademik yang memiliki luaran konkret.

D. TUJUAN KEGIATAN

Kegiatan benchmarking ini memiliki beberapa tujuan utama sebagai berikut:

1. Mempelajari pengelolaan laboratorium riset sensor dan artificial olfaction di University of Warwick.
2. Mengamati secara langsung fasilitas riset yang digunakan untuk pengembangan sensor gas, electronic nose, robotic sensor, dan GC-MS.
3. Memahami integrasi antara sensor, sistem elektronik, desain sampling, akuisisi data, validasi analitik, dan analisis data.

4. Mendapatkan wawasan mengenai praktik baik dalam pengembangan riset lintas disiplin yang berorientasi pada kebutuhan industri dan masyarakat.
5. Mengidentifikasi peluang kolaborasi riset antara institusi asal dan University of Warwick.
6. Merumuskan rencana tindak lanjut dalam bentuk pengajuan proposal kolaboratif melalui skema ISPF.
7. Mengadaptasi pembelajaran dari University of Warwick untuk penguatan laboratorium, kurikulum, praktikum, dan riset di institusi asal.

E. PROFIL MITRA: PROFESSOR JAMES COVINGTON DAN BIOMEDICAL SENSORS LABORATORY

E.1 Professor James Covington

Professor James Covington merupakan Professor in Electronic Engineering di School of Engineering, University of Warwick. Berdasarkan profil resmi University of Warwick, beliau memiliki kepakaran dalam pengembangan chemical sensors dan biological sensors untuk mendeteksi berbagai polutan lingkungan serta agen biologis. Beliau juga mengembangkan berbagai teknik elektronik dan MEMS dalam pembuatan sensor, termasuk pengembangan sensor kimia berbiaya rendah dan hemat daya untuk aplikasi industri.

Profil resmi Warwick (https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/people/james_covington/) juga menyebutkan bahwa Professor Covington mendirikan Biomedical Sensors Laboratory pada tahun 2010 untuk menerapkan teknik analisis gas pada bidang medis seperti terlihat pada Gambar 1. Fokus fasilitas ini berkaitan dengan analisis biomarker fase gas yang berasal dari breath, urine, stool, sweat, dan skin. Selain itu, bidang riset beliau meliputi artificial olfactory systems atau electronic noses, gas phase analysis sensor systems, clinical investigations of gas phase biomarkers of disease, aplikasi medis, lingkungan, dan pertanian, serta pengembangan material sensor seperti metal oxides dan polymers.



Gambar 1. Profil Prof. Dr. James Covington

Dalam konteks laporan ini, jabatan Professor Covington ditulis secara hati-hati sebagai pendiri dan academic lead atau pengarah akademik Biomedical Sensors Laboratory. Hal ini karena profil resmi Warwick secara eksplisit menyebutkan bahwa beliau mendirikan laboratorium tersebut, sedangkan penggunaan istilah Head of Laboratory sebaiknya hanya

digunakan apabila tersedia dokumen resmi institusi yang secara eksplisit mencantumkan dalam konteks administratif saat kegiatan berlangsung.

E.2 Biomedical Sensors Laboratory

Biomedical Sensors Laboratory atau BSL merupakan kelompok riset di School of Engineering, University of Warwick, yang berfokus pada artificial olfaction. Laboratorium ini mengembangkan sensor kimia dan sistem sensing yang meniru kemampuan penciuman manusia. Riset yang dilakukan bersifat interdisipliner dan memiliki cakupan aplikasi yang luas, mulai dari medical diagnostics, environmental and air quality monitoring, industrial process control, food and beverage safety, hingga agriculture.

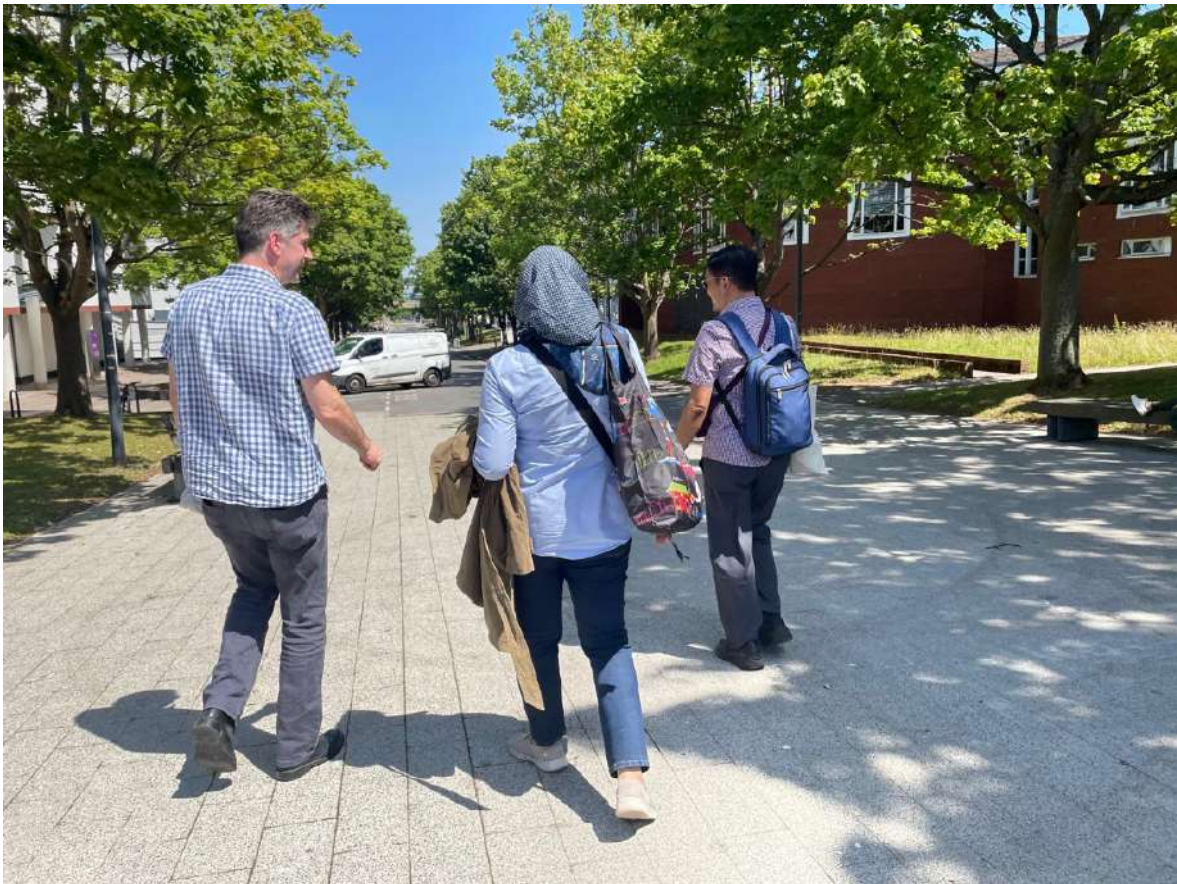
Salah satu kekuatan BSL adalah kemampuannya menghubungkan riset dasar sensor dengan aplikasi nyata. Laboratorium ini tidak hanya mengembangkan perangkat sensor, tetapi juga membangun sistem sampling, instrumentasi, perangkat lunak, dan metode analisis data. Dengan demikian, teknologi yang dihasilkan dapat diarahkan untuk menjawab kebutuhan dunia nyata, baik melalui kerja sama akademik maupun kerja sama dengan industri.

Bidang pertanian menjadi salah satu area yang relevan dengan kebutuhan riset di Indonesia. BSL mengembangkan tools untuk deteksi dini infeksi tanaman di lapangan, saat panen, maupun selama penyimpanan. Hal ini sangat relevan dengan pengembangan sistem deteksi dini penyakit tanaman menggunakan electronic nose dan sensor gas, termasuk untuk mendukung pertanian presisi dan pengurangan kerugian pascapanen.

F. DESKRIPSI PELAKSANAAN KEGIATAN

F.1 Kedatangan dan Penerimaan oleh Mitra

Kegiatan benchmarking dilaksanakan pada 10-18 Juli 2025 di University of Warwick, Coventry, United Kingdom. Tim yang terdiri dari Prof. Dr. Tien Aminatun, Dr. Pujiyanto, dan Dyah Kurniawati Agustika, Ph.D. diterima oleh Professor James Covington dari School of Engineering. Pertemuan awal difokuskan pada pengenalan lingkungan akademik dan riset di University of Warwick, khususnya pada bidang sensor, artificial olfaction, dan aplikasi teknologi gas analysis.



Gambar 2. Penerimaan Tim UNY oleh Professor James Covington

Dalam sesi penerimaan, Professor Covington menjelaskan profil umum riset yang dikembangkan, termasuk arah pengembangan sensor kimia, electronic nose, dan analisis senyawa volatil. Diskusi juga mencakup peluang aplikasi teknologi sensor untuk bidang pertanian, lingkungan, kesehatan, pangan, dan industri. Kegiatan ini menjadi pintu masuk

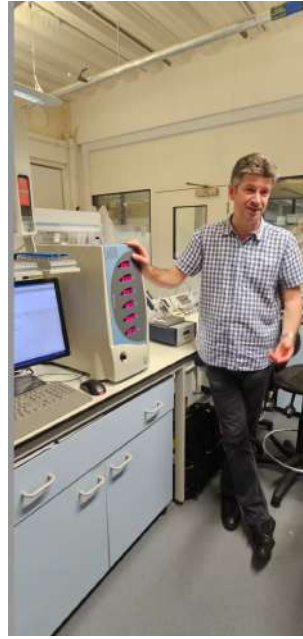
untuk memahami ekosistem riset di Warwick yang sangat kuat dalam menghubungkan riset dasar, instrumentasi, dan penerapan praktis.

F.2 Kunjungan Laboratorium

Selama kunjungan laboratorium, tim diperkenalkan pada berbagai perangkat dan fasilitas yang digunakan dalam riset sensor gas dan artificial olfaction. Professor Covington menunjukkan sistem sensor gas, electronic nose, robotic sensor, GC-MS, serta perangkat lain yang mendukung pengambilan, pengondisian, dan analisis sampel gas. Kegiatan observasi ini memberikan gambaran nyata mengenai bagaimana laboratorium riset sensor di tingkat internasional dikelola dan dioperasikan.

Salah satu aspek yang menarik adalah keterpaduan antara hardware dan software. Sensor gas tidak berdiri sendiri sebagai komponen elektronik, tetapi menjadi bagian dari sistem yang lebih besar. Sistem tersebut mencakup desain ruang uji, sistem aliran gas, kontrol suhu dan kelembaban, sistem akuisisi data, algoritma pemrosesan sinyal, serta metode validasi menggunakan instrumen analitik seperti GC-MS.





Gambar 3. Kunjungan ke Laboratorium di School of Engineering, The University of Warwick

Tim juga memperoleh pemahaman bahwa robotic sensor atau sistem sensor terotomasi dapat membantu meningkatkan repeatability eksperimen. Dalam riset sensor gas, pengulangan yang konsisten sangat penting karena respons sensor dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk suhu, kelembaban, laju aliran gas, waktu eksposur, dan kondisi baseline. Otomatisasi dapat mengurangi variasi yang disebabkan oleh operator dan meningkatkan reliabilitas data.

F.3 Diskusi Kerja Sama dan Proposal ISPF

Di sela-sela kegiatan benchmarking, tim dan mitra juga melakukan diskusi mengenai potensi kerja sama riset. Diskusi ini mengarah pada peluang pengembangan proposal bersama melalui skema International Science Partnerships Fund atau ISPF. Proposal tersebut diharapkan dapat menjadi wadah kolaborasi antara Indonesia dan United Kingdom dalam bidang sensor gas, electronic nose, artificial olfaction, analisis senyawa volatil, dan aplikasi sensor untuk masalah nyata.

Rencana pengajuan proposal ISPF menjadi luaran strategis dari kegiatan ini. Melalui proposal tersebut, kerja sama tidak hanya berhenti pada kunjungan laboratorium, tetapi dapat berkembang menjadi riset bersama, pertukaran pengetahuan, pengembangan kapasitas, publikasi ilmiah, dan penguatan jejaring internasional. Fokus riset dapat diarahkan pada topik yang memiliki relevansi tinggi bagi kedua belah pihak, misalnya deteksi dini penyakit tanaman, pemantauan kualitas lingkungan, pengembangan sensor berbiaya rendah, atau integrasi electronic nose dengan machine learning.

G. FASILITAS DAN TEKNOLOGI YANG DIAMATI

Berdasarkan hasil kunjungan dan penelusuran profil fasilitas Biomedical Sensors Laboratory, beberapa fasilitas dan teknologi yang relevan dengan kegiatan benchmarking adalah sebagai berikut.

Fasilitas/Teknologi	Keterangan dan Relevansi
Sensor gas dan electronic nose	Perangkat untuk mendeteksi pola respons senyawa volatil menggunakan array sensor dan analisis pola. Relevan untuk aplikasi pertanian, pangan, lingkungan, industri, dan kesehatan.
AlphaMOS Fox Electronic Nose	Instrumen electronic nose komersial yang menggunakan sistem sampling, deteksi, akuisisi data, dan pemrosesan berbasis multivariate statistics/chemometrics.
AIRSENSE Analytic PEN3 Electronic Nose	Electronic nose berbasis array sensor metal oxide, dengan sistem aliran gas dan teknik pattern recognition untuk klasifikasi sampel.
GC-IMS	Gas Chromatograph-Ion Mobility Spectrometer untuk analisis sampel headspace/gas secara cepat dan sensitif.
Portable mass spectrometer	Instrumen mass spectrometer portabel untuk analisis gas, termasuk potensi analisis dengan sensitivitas tinggi pada level rendah.
ATD-GC-TOF-MS / GC-MS	Instrumen Automated Thermal Desorption - Gas Chromatograph Mass Spectrometer untuk identifikasi komponen kimia spesifik pada sampel biologis dan non-biologis.

Fasilitas/Teknologi	Keterangan dan Relevansi
Robotic/automated sensing system	Sistem terotomasi untuk mendukung pengukuran sensor yang lebih konsisten, mengurangi variasi operator, dan meningkatkan repeatability eksperimen.
Sistem data acquisition dan analisis	Perangkat lunak dan metode analisis data untuk mengolah respons sensor, melakukan klasifikasi, dan menginterpretasikan pola respons sampel.

H. HASIL BENCHMARKING DAN PEMBELAJARAN UTAMA

H.1 Pengelolaan Laboratorium Berbasis Fokus Riset yang Jelas

Pembelajaran utama dari kunjungan ini adalah pentingnya laboratorium memiliki fokus riset yang jelas. Biomedical Sensors Laboratory memiliki arah riset yang terdefinisi, yaitu artificial olfaction dan sensor technologies. Fokus yang jelas memungkinkan laboratorium membangun fasilitas, kompetensi, jejaring, dan portofolio riset secara berkelanjutan. Hal ini berbeda dengan laboratorium yang hanya berfungsi sebagai tempat praktikum atau tempat penyimpanan alat tanpa arah pengembangan riset yang kuat.

Dalam pengembangan laboratorium di institusi asal, pembelajaran ini dapat diterapkan melalui penentuan tema unggulan, misalnya sensor gas dan electronic nose untuk deteksi dini penyakit tanaman atau pemantauan kualitas lingkungan. Dengan tema unggulan tersebut, pengadaan alat, pelatihan SDM, topik skripsi/tesis, publikasi, dan kerja sama eksternal dapat diarahkan secara lebih sistematis.

H.2 Integrasi Sensor, Instrumentasi, dan Validasi Kimia

Kunjungan ini menunjukkan bahwa pengembangan sensor gas tidak cukup hanya dengan merangkai sensor dan membaca sinyal. Diperlukan integrasi antara sensor, sistem sampling, kontrol lingkungan, akuisisi data, dan validasi menggunakan instrumen analitik. GC-MS atau instrumen sejenis memiliki peran penting untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang mungkin menjadi penyebab perubahan respons sensor.

Dalam penelitian electronic nose, sensor dapat memberikan pola respons yang membedakan satu kondisi dengan kondisi lain. Namun, agar hasilnya lebih kuat secara ilmiah, pola tersebut sebaiknya dikaitkan dengan informasi kimia dari instrumen analitik. Oleh karena itu, kombinasi antara electronic nose dan GC-MS menjadi strategi penting untuk meningkatkan validitas riset.

H.3 Pentingnya Desain Eksperimen dan Repeatability

Riset sensor gas sangat sensitif terhadap desain eksperimen. Variabel seperti suhu, kelembaban, jarak sensor terhadap sampel, volume ruang uji, waktu pemanasan sensor, waktu eksposur, dan waktu recovery dapat memengaruhi respons sensor. Oleh karena itu, desain eksperimen perlu ditetapkan secara rinci dan dijalankan secara konsisten.

Penggunaan robotic sensor atau sistem terotomasi yang ditunjukkan dalam kunjungan menjadi contoh penting bagaimana repeatability dapat ditingkatkan. Dengan sistem terotomasi, proses pengukuran dapat dilakukan dengan pola yang sama, sehingga variasi yang disebabkan oleh operator dapat dikurangi. Pembelajaran ini sangat relevan untuk pengembangan protokol pengukuran electronic nose di institusi asal.

H.4 Peran Analisis Data, Chemometrics, dan Machine Learning

Electronic nose menghasilkan data multivariat karena respons diperoleh dari beberapa sensor sekaligus. Oleh karena itu, data yang dihasilkan perlu dianalisis menggunakan metode statistik, chemometrics, atau machine learning. Metode seperti PCA, LDA, SVM, ANN, Random Forest, atau deep learning dapat digunakan tergantung pada tujuan penelitian dan karakteristik data.

Pembelajaran penting dari benchmarking ini adalah bahwa keberhasilan sistem sensor tidak hanya ditentukan oleh sensor yang digunakan, tetapi juga oleh kualitas pipeline data. Tahapan seperti baseline correction, denoising, feature extraction, normalization, data splitting, cross-validation, dan interpretasi model perlu dirancang dengan baik. Jika tahapan analisis data tidak kuat, maka akurasi tinggi yang diperoleh dari model dapat menjadi kurang dapat dipercaya.

H.5 Riset Berorientasi Dampak dan Kolaborasi Industri

University of Warwick menunjukkan bahwa riset engineering dapat diarahkan pada dampak nyata melalui kolaborasi dengan industri, layanan kesehatan, komunitas, dan sektor pertanian. Prof. Covington menunjukkan keterlibatan beliau dalam berbagai proyek yang berhubungan dengan aplikasi sensor untuk lingkungan, pertanian, pangan, kesehatan, dan industri.

Pembelajaran ini penting bagi institusi asal karena riset sensor gas dapat dirancang tidak hanya untuk publikasi, tetapi juga untuk menjawab permasalahan masyarakat. Misalnya, deteksi dini penyakit tanaman dapat membantu petani mengambil keputusan lebih cepat, sistem pemantauan kualitas udara dapat mendukung kesehatan masyarakat, dan deteksi kualitas pangan dapat membantu industri kecil maupun besar menjaga mutu produk.

I. ANALISIS RELEVANSI BAGI PENGEMBANGAN INSTITUSI

I.1 Penguatan Riset Sensor dan Instrumentasi

Hasil benchmarking sangat relevan untuk penguatan riset sensor dan instrumentasi di institusi asal. Pengembangan laboratorium dapat diarahkan untuk membangun platform electronic nose yang terstandar, dimulai dari desain chamber, pemilihan sensor, rangkaian akuisisi data, protokol sampling, dan sistem analisis data. Penguatan ini dapat mendukung riset dosen, penelitian mahasiswa, skripsi, tesis, dan publikasi internasional.

Selain itu, pembelajaran dari Warwick menunjukkan pentingnya penggunaan alat validasi. Jika fasilitas GC-MS belum tersedia secara internal, institusi dapat membangun kerja sama dengan laboratorium lain yang memiliki instrumen tersebut. Dengan demikian, riset sensor dapat tetap memiliki validasi kimia yang memadai.

I.2 Penguatan Pembelajaran dan Praktikum

Kegiatan benchmarking juga memiliki relevansi terhadap pembelajaran. Materi tentang sensor gas, electronic nose, data acquisition, IoT, dan machine learning dapat diintegrasikan ke dalam mata kuliah atau praktikum. Mahasiswa dapat dikenalkan pada pendekatan riset modern yang menggabungkan fisika, elektronika, instrumentasi, kimia, biologi, dan data science.

Praktikum berbasis sensor dapat dikembangkan secara bertahap, mulai dari pengukuran gas sederhana, karakterisasi sensor, analisis baseline, pengolahan data, hingga klasifikasi menggunakan machine learning. Dengan demikian, mahasiswa tidak hanya belajar teori, tetapi juga memahami bagaimana sistem deteksi dikembangkan dari level komponen hingga aplikasi.

I.3 Penguatan Internasionalisasi

Kunjungan ke University of Warwick memberikan kontribusi terhadap internasionalisasi institusi. Jejaring dengan Professor James Covington dan School of Engineering membuka peluang untuk kerja sama riset, publikasi bersama, serta pengajuan proposal pendanaan internasional. Hal ini penting untuk meningkatkan reputasi akademik dan memperluas akses institusi terhadap ekosistem riset global.

Rencana pengajuan proposal ISPF menjadi langkah strategis karena dapat menyediakan kerangka kerja formal untuk kolaborasi. Melalui skema tersebut, kedua pihak dapat menyusun agenda kerja yang jelas, menentukan luaran, membagi peran, dan mengembangkan riset yang memiliki dampak akademik serta sosial.

J. RENCANA TINDAK LANJUT DAN PENGAJUAN PROPOSAL ISPF

Sebagai tindak lanjut dari kegiatan benchmarking, tim dan mitra menyepakati perlunya penyusunan proposal kolaboratif melalui skema International Science Partnerships Fund atau ISPF. Proposal ini dapat difokuskan pada pengembangan teknologi sensor gas dan electronic nose untuk aplikasi yang relevan dengan kebutuhan Indonesia dan memiliki kesesuaian dengan kepakaran University of Warwick.

Topik yang potensial untuk dikembangkan adalah deteksi dini penyakit tanaman berbasis senyawa volatil, pemantauan kualitas hasil pertanian selama penyimpanan, deteksi pembusukan pangan, pemantauan kualitas lingkungan, atau pengembangan electronic nose portabel berbasis sensor berbiaya rendah. Topik tersebut dapat dikaitkan dengan isu ketahanan pangan, kesehatan masyarakat, keberlanjutan lingkungan, dan penguatan teknologi lokal.

J.1 Arah Topik Proposal ISPF

- Pengembangan electronic nose portabel untuk deteksi dini penyakit tanaman atau kualitas hasil pertanian.
- Integrasi sensor gas dengan sistem IoT untuk pemantauan lapangan atau penyimpanan komoditas.
- Validasi respons sensor menggunakan GC-MS atau instrumen analitik lain.
- Pengembangan pipeline data berbasis chemometrics dan machine learning.
- Penyusunan protokol eksperimen yang repeatable dan dapat direplikasi.
- Pelatihan peneliti dan mahasiswa dalam bidang sensor gas, artificial olfaction, dan data analysis.
- Penyusunan publikasi bersama dan pengembangan jejaring riset jangka panjang.

J.2 Rencana Aktivitas Lanjutan

No.	Aktivitas	Uraian
1	Komunikasi lanjutan dengan mitra	Menyepakati tema proposal, peran masing-masing pihak, dan target luaran.
2	Penyusunan concept note	Menyusun ringkasan ide, latar belakang, urgensi, novelty, dan dampak.
3	Pemetaan fasilitas dan SDM	Mengidentifikasi fasilitas yang tersedia di Indonesia dan Warwick serta kebutuhan tambahan.
4	Penyusunan desain riset	Menentukan sampel, sensor, metode sampling, validasi GC-MS, dan pipeline analisis data.
5	Penyusunan proposal ISPF	Menyiapkan proposal lengkap sesuai format pendanaan yang dituju.
6	Persiapan luaran	Merancang target publikasi, workshop, pelatihan, prototipe, dan roadmap kolaborasi.

J.3 Potensi Luaran Proposal

- Proposal ISPF yang siap diajukan bersama University of Warwick.
- Roadmap kolaborasi riset sensor gas dan artificial olfaction antara Indonesia dan United Kingdom.
- Draft artikel ilmiah bersama pada bidang electronic nose atau sensor gas.
- Prototipe awal sistem sensor gas/electronic nose untuk aplikasi pertanian atau lingkungan.
- Penguatan jejaring dengan School of Engineering, University of Warwick.

K. INDIKATOR KEBERHASILAN DAN LUARAN

Aspek	Indikator	Bukti/Luaran
Pemahaman fasilitas riset	Peserta memahami pengelolaan laboratorium sensor gas dan artificial olfaction di University of Warwick.	Catatan kunjungan, dokumentasi, dan laporan benchmarking.
Penguatan jejaring	Terbangun komunikasi akademik dengan Professor James Covington dan School of Engineering.	Komunikasi lanjutan, diskusi proposal, dan rencana kerja sama.
Identifikasi praktik baik	Teridentifikasi praktik baik dalam desain eksperimen, validasi sensor, dan analisis data.	Rekomendasi adaptasi untuk institusi asal.
Rencana kolaborasi	Disepakati arah awal pengajuan proposal ISPF.	Concept note atau draft proposal ISPF.
Pengembangan akademik	Tersusun peluang integrasi hasil benchmarking ke riset dan pembelajaran.	Rencana praktikum, topik riset mahasiswa

L. REKOMENDASI

Berdasarkan hasil benchmarking, beberapa rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti adalah sebagai berikut:

1. Institusi perlu mengembangkan fokus riset unggulan pada bidang sensor gas, electronic nose, artificial olfaction, dan instrumentasi berbasis data.
2. Laboratorium perlu menyusun protokol standar untuk pengukuran sensor gas, meliputi baseline, waktu eksposur, waktu recovery, suhu, kelembaban, dan kondisi sampling.
3. Setiap riset sensor gas perlu memperhatikan karakterisasi sensor, termasuk sensitivitas, selektivitas, repeatability, stability, response time, recovery time, limit of detection, dan drift.
4. Pengembangan electronic nose sebaiknya dikombinasikan dengan validasi kimia menggunakan GC-MS atau instrumen analitik lain melalui kerja sama laboratorium.
5. Data sensor perlu dianalisis menggunakan pipeline yang dapat dipertanggungjawabkan, termasuk preprocessing, feature extraction, model validation, dan interpretasi hasil.
6. Hasil benchmarking perlu diintegrasikan ke dalam pembelajaran melalui praktikum sensor, data acquisition, IoT, dan machine learning untuk mahasiswa.
7. Kerja sama dengan University of Warwick perlu dilanjutkan melalui proposal ISPF agar menghasilkan luaran konkret berupa publikasi, prototipe, pelatihan, dan penguatan kapasitas laboratorium.
8. Institusi perlu mendorong kolaborasi lintas bidang, terutama fisika, teknik, kimia, biologi, pertanian, lingkungan, dan data science, agar pengembangan sensor gas menjadi lebih komprehensif.

M. KESIMPULAN

Kegiatan benchmarking ke University of Warwick pada 10-18 Juli 2025 memberikan pengalaman akademik yang sangat bernilai bagi peserta. Melalui kegiatan ini, tim memperoleh wawasan langsung mengenai pengelolaan laboratorium riset sensor, pengembangan artificial olfaction, penggunaan sensor gas, electronic nose, robotic sensor, dan GC-MS untuk berbagai aplikasi.

Pertemuan dengan Professor James Covington memperkuat pemahaman bahwa riset sensor modern memerlukan pendekatan yang terintegrasi. Pengembangan sensor harus menggabungkan aspek material, elektronik, instrumentasi, desain sampling, validasi kimia, dan analisis data. Pendekatan ini sangat relevan untuk pengembangan riset di Indonesia, terutama pada bidang pertanian, pangan, lingkungan, dan kesehatan.

Kegiatan ini juga menghasilkan peluang kerja sama yang konkret, yaitu rencana pengajuan proposal melalui skema ISPF. Rencana ini menjadi langkah strategis untuk membangun kolaborasi jangka panjang antara Indonesia dan University of Warwick. Dengan tindak lanjut yang terencana, kegiatan benchmarking ini dapat memberikan dampak nyata terhadap penguatan riset, pembelajaran, publikasi, prototipe, dan internasionalisasi institusi.

N. DAFTAR REFERENSI

1. University of Warwick. Professor James Covington, School of Engineering.
https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/people/james_covington/
2. University of Warwick. James Covington profile page. <https://profiles.warwick.ac.uk/essuu-james-covington>
3. University of Warwick. Biomedical Sensors Laboratory.
<https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sensorsanddevices/bsl/>
4. University of Warwick. Biomedical Sensors Laboratory Facilities.
<https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sensorsanddevices/bsl/facilities/>