

**PERAN *PROCESS SYSTEM ENGINEERING* DALAM
PERANCANGAN PROSES DAN PRODUK DI INDUSTRI
KIMIA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam bidang Rekayasa Sistem (*System Engineering*)
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Jabatan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Pada tanggal 27 Februari 2024
Di Yogyakarta**

**Oleh:
Prof. Ir. Muslihin Hidayat, ST, MT, PhD, IPU**

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Yang saya hormati:

*Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat,
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada (UGM),*

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar UGM,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik UGM,

Dekan dan Wakil Dekan,

*Ketua dan Sekretaris Senat, serta para guru besar di lingkungan
Fakultas Teknik dan Fakultas Teknologi Pertanian, UGM,*

*Rekan-rekan WD KSDMA, rekan-rekan dosen, rekan-rekan tendik dan
segenap civitas akademika UGM,*

*Para tamu undangan yang berbahagia, keluarga yang saya cintai,
serta hadirin sekalian yang saya hormati.*

Assalaamu 'alaikum warohmatullaahi wabarokaatuhuu.

Alhamdulillah robbil 'aalamiin. Segala puji hanya milik Allah SWT dan sepatutnya pujian itu hanya ditujukan kepada Allah SWT, *Rabb* pencipta alam semesta. Hanya dengan izin dan takdir Allah saja lah kita semua hari ini bisa berkumpul di Balai Senat Universitas Gadjah Mada dalam kondisi sehat wal 'aafiat dalam rangka pengukuhan guru besar kami berdua. Sholawat dan salam kami haturkan kepada Nabiyullah Muhammad SAW hamba Allah yang suci dan terpuji, melalui Beliau lah hidayah itu tercurahkan sehingga kami mengerti arti hidup dan kehidupan di dunia yang sangatlah sementara dan kehidupan akhirat yang lebih menjanjikan dan menyenangkan, lebih panjang dan tidak berakhir. Sungguh merupakan kehormatan bagi saya dan istri berkesempatan menyampaikan pidato pengukuhan guru besar dalam bidang ilmu *System Engineering* dan bidang ilmu Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian di hadapan majelis yang terhormat ini sebagai salah satu tradisi akademik yang baik di lingkungan Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih kepada Bapak/Ibu semua, yang telah berkenan hadir berkenan hadir baik luring maupun daring pada pidato pengukuhan saya sebagai guru besar dengan judul:

Peran *Process System Engineering* dalam Perancangan Proses dan Produk di Industri Kimia

Bapak/Ibu yang saya muliakan, ijinkan saya menjelaskan mengapa judul ini penting untuk diangkat.

1. Latar Belakang

Seiring dengan sejarah perkembangan manusia, ilmu pengetahuan, teknologi dan kebudayaan terus berkembang. Dimulai dari jaman prasejarah (jaman batu dan logam); jaman kuno seperti Mesopotamia, Mesir, Yunani, Romawi kuno; jaman pertengahan dimana kejayaan Islam bertahan selama berabad-abad diikuti dengan renaissance dengan pengembangan metode ilmiah lebih runtut; munculnya revolusi industri ditandai dengan kemampuan memproduksi barang-barang secara masal dengan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi; perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern dengan memadukan berbagai aspek termasuk kecerdasan buatan atau sering disingkat dengan *artificial intelligence* (AI) (Wikipedia, 2023).

Di jaman revolusi industri banyak bidang ilmu bermunculan salah satunya adalah Teknik Kimia. Bidang ilmu Teknik Kimia berkembang menjelang akhir abad 19 seiring dengan adanya perubahan proses di industri yaitu dari proses *batch* ke kontinyu. Perubahan ini merupakan ciri khas dari kemunculan bidang ilmu Teknik Kimia (Ronalds, 2019; Furter, 1980). Pada tahun 1881, George E. Davis membentuk Masyarakat Insinyur Kimia dan beliau memberi ceramah tentang Teknik Kimia pertama pada tahun 1887 di *Manchester Technical School*, sehingga beliau dikenal sebagai insinyur kimia pertama di dunia (Antewerpen, 1980). Menurut Harper (1954), pada prinsipnya pendirian pabrik kimia dimulai dari ide dasar sampai pengoperasiannya, melalui beberapa tahapan yaitu penelitian proses, pengembangan proses, perancangan pabrik, konstruksi pabrik, operasi pabrik dan teknik riset pasar.

Sarto (2022) dalam pidato pengukuhan yang berjudul “Adaptasi dan Integrasi Teknik Kimia di Era Industri 4.0” memaparkan dengan rinci sejarah perkembangan Teknik Kimia dari awal berdiri sampai di

era modern sekarang ini serta bagaimana peluang pengaplikasian AI dalam bidang Teknik kimia. Di awal kelahiran bidang Teknik Kimia, unit operasi sangat mendominasi perannya di industri kimia seperti di alat penukar panas, distilasi, kristalisasi, filtrasi dll (Cohen, 1996). Dominasi unit operasi ini berlangsung cukup lama, diikuti pengaplikasian termodinamika dan pengendalian proses di tahun 1935. Pelibatan kinetika reaksi dan perancangan proses dimulai sekitar tahun 1945 dan diikuti dengan penguatan aplikasi *engineering science* di bidang Teknik Kimia (Antewerpen, 1980).

Metode (algoritma) numeris adalah ilmu matematika yang sudah dikenal lama sejak sebelum Masehi (Kendall, 2023). Adapun permulaan analisis atau metode numerik modern sering dikaitkan dengan makalah tahun 1947 oleh John von Neumann dan Herman Goldstine (Watson, 2010; Bultheel dan Cools, 2010), tetapi ada juga yang beranggapan bahwa analisis atau metode numerik modern dilakukan oleh Whittaker (Watson, 2010). Perkembangan metode numeris modern meningkat secara signifikan setelah ditemukannya komputer. Pesatnya perkembangan teknologi komputer di bagian prosesor dan memori telah berpengaruh positif terhadap pengembangan metode numeris, pemrograman komputer dan simulasi proses. Banyak karya-karya buku memanfaatkan momentum perkembangan tersebut diantaranya adalah *Applied Numerical Methods* oleh Carnahan dkk (1969); *Applied Numerical Analysis* oleh Gerald dan Wheatley (1989); *Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia* oleh Sediawan dan Prasetya (1997).

Istilah *Process System Engineering* (PSE) pertama kali dimunculkan adalah pada *the 1st Process System Engineering (PSE) conference* di Kyoto pada tahun 1982, meskipun beberapa topik inti PSE telah menjadi bagian dari disiplin ilmu teknik sejak lama (Pistikopoulos dkk, 2021). *Process system Engineering* yang dipelopori oleh Roger Sargent (Stephanopoulos dan Reklaitis, 2011) merupakan salah satu produk pengembangan secara intensif gabungan dari pemodelan matematis, pengembangan metode numeris, pemrograman komputer, pengendalian proses dan simulasi proses. Dalam perkembangannya PSE memberikan banyak sumbangan bagi industri

terutama di bidang analisis data, design atau perancangan, pemanfaatan *software* simulasi untuk tujuan optimisasi, pengendalian proses, serta pemanfaatan potensi bahan industri. *Process system Engineering* mendapatkan sambutan yang bagus bagi dunia akademisi ataupun dunia industri.

Bapak/Ibu yang saya hormati,

2. *Process System Engineering*

Menurut Sargent (1983), diawal kemunculannya, PSE adalah tentang pengembangan teknik sistematis untuk pemodelan, desain, dan pengendalian proses. Beberapa orang memformulasikan masalah sintesis, desain dan/atau pengendaliannya, atau beberapa penyederhanaan yang berguna dalam istilah matematika yang tepat, dan kemudian berusaha memanfaatkan struktur matematika untuk mendapatkan algoritma yang efektif. Sementara yang lain mencari wawasan tentang masalah tersebut yaitu struktur masalah dari intuisi fisik. Untuk menyelesaikan masalah PSE ini dari domain yang berbeda, diperlukan seperangkat metode PSE dan perangkat lunak atau yang disebut teknik PSE.

Selama kurun waktu hampir 4 dekade, cakupan yang dibahas dalam PSE mengalami sedikit pengembangan. Menurut Pistikopoulos dkk (2021), PSE adalah disiplin ilmu yang mengintegrasikan skala dan komponen yang menggambarkan perilaku sistem fisikokimia, melalui pemodelan matematika, analisis data, desain, optimasi, dan kontrol. *Process System Engineering* memberikan ‘perekat’ dalam ilmu teknik kimia, dan menawarkan landasan ilmiah dan alat komputasi untuk mengatasi tantangan kontemporer dan masa depan seperti di bidang energi, lingkungan, ‘industri masa depan’ dan keberlanjutan.

Masih menurut Pistikopoulos dkk (2021), seorang insinyur kimia atau biokimia bekerja dengan unit operasi untuk tujuan sintesa proses kimia atau biokimia yang diikuti dengan pemisahan hilir, yang semuanya didasarkan pada fenomena seperti termodinamika, reaksi (konversi kimia, biokimia, atau termal), dan transportasi (massa, panas, dan momentum). Dengan cara ini, seorang insinyur kimia atau biokimia

memecahkan masalah dengan bantuan teknik PSE yang berkaitan dengan sintesis dan desain proses (Westerberg, 2004), analisis proses (Venkatasubramanianm dkk, 2003a; Venkatasubramanianm dkk, 2003b), operasi proses (Wan dkk, 2005), kontrol proses (Morari dan Lee, 1999), optimalisasi proses (Biegler dan Grossmann, 2004) dll, proses kimia dan biokimia yang diperlukan untuk memproduksi produk yang dibutuhkan oleh masyarakat.

Bapak/Ibu yang saya hormati,

3. Elemen-elemen Utama PSE

Sejak kemunculannya di awal tahun 80-an, PSE terus berkembang mengikuti perkembangan jaman hingga sekarang. Namun demikian elemen-elemen utama PSE praktis tidak banyak berubah yaitu meliputi konsep dasar/fundamental keteknik-kimiaan, pemodelan matematis, analisis data, desain dan aplikasi software simulasi perancangan proses, optimasi dan *control*, pengembangan obyek yang dipelajari (tantangan) yaitu bidang energi, lingkungan, 'industri masa depan' dan keberlanjutan

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Dalam kesempatan ini, perkenankan saya ingin membahas elemen- elemen utama dari PSE.

3.1. Konsep dasar/fundamental keteknikkimiaan

Sudah menjadi pemahaman umum bahwa Teknik Kimia adalah salah satu bidang keteknikan yang mempelajari pemrosesan bahan mentah menjadi bahan setengah atau bahkan bahan jadi. Dalam memproses bahan mentah menjadi bahan yang lebih bermanfaat tersebut, banyak proses yang harus dilalui yaitu berupa perubahan fasa (gas, cair, uap); proses pemanasan dan pendinginan; penguapan, pencairan, pemadatan, penyubliman; reaksi kimia dan transportasi dan lain-lain. Untuk memahami peristiwa-peristiwa tersebut dibutuhkan pemahaman ilmu- ilmu dasar yang bagus untuk mendukung

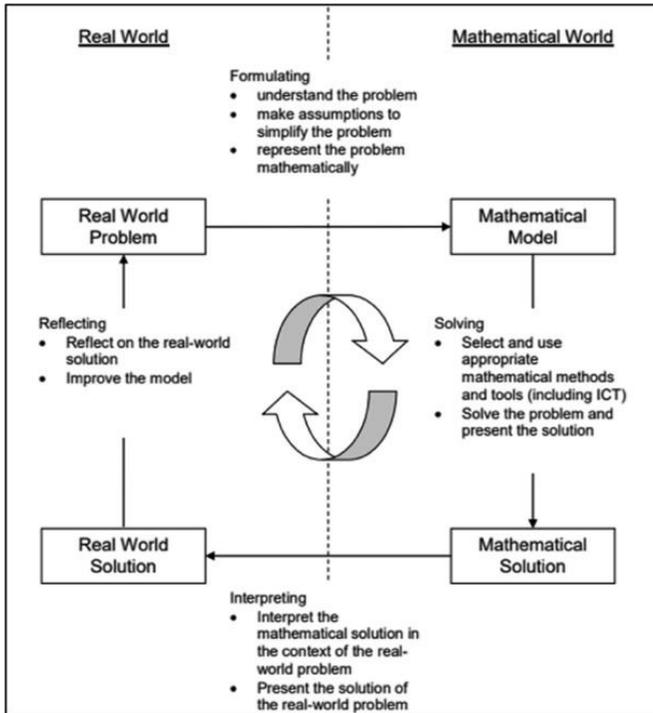
pemahaman seperti matematika, fisika, kimia umum atau dasar, kimia analisis, kimia organik, kimia fisika dan biologi.

Selain itu dikenal konsep *chemical engineering tools* (Sediawan dan Prasetya, 1997) yang meliputi neraca massa, neraca panas, kesetimbangan, proses kecepatan, ekonomi dan humaniora. Pelibatan konsep yang ada sangat bergantung dari problem nyata yang diselesaikan. Secara umum semakin kompleks permasalahan akan lebih banyak melibatkan konsep-konsep dasar yang ada.

3.2. Pemodelan matematis

Problem nyata ada di alam, lingkungan dan industri terjadi secara kompleks dan simultan, berjalan seri dan paralel secara beriringan dan saling keterkaitan satu dengan lainnya. Untuk memodelkan problem nyata tersebut sering dilakukan penyederhanaan-penyederhanaan yang wajar dan sesuai. Model matematis yang bagus adalah sederhana tetapi mampu mewakili kompleksitas data dan problem. Kompleksitas model akan berpengaruh terhadap kompleksitas penyelesaian seperti ditunjukkan di Gambar 1. Dengan perkembangan penyelesaian numeris yang stabil, cepat dan akurat serta kecanggihan komputer yang ada sekarang, kompleksitas model matematis tidak lagi menjadi penghalang yang cukup berarti.

Pemodelan matematis dengan penyelesaiannya dapat membantu kita dalam memahami suatu peristiwa atau mekanisme proses. Dengan peningkatan pemahaman suatu mekanisme proses maka kita akan mampu memprediksi pengaruh variabel-variabel proses dalam sebuah sistem yang berjalan. Pemodelan matematis juga sangat bermanfaat dalam desain dan perancangan peralatan industri. *Software-software* perancangan yang banyak dipakai di industri merupakan kumpulan pemodelan matematis suatu peristiwa fisis dan kimiawi diikuti dengan penyelesaian dan interpretasi data hasil. Pemodelan matematis juga pada dapat membantu memperbaiki proses dan sistem yang bekerja agar lebih efisien dan optimal.



Gambar 1. Penyederhanaan dan penyelesaian problem dunia nyata dengan model matematika diikuti interpretasi dan validasi hasil (Chan dkk, 2019)

3.3. Analisis data

Untuk problem sederhana yang menghasilkan model matematis sederhana pula, sering penyelesaiannya dapat dilakukan secara analitis dan akurat. Semakin kompleks problem nyata yang dihadapi, umumnya model matematis yang dikembangkan akan mengikuti derajat kekompleksannya. Model yang dihasilkan sering lebih mudah dan cepat diselesaikan secara numeris dengan menggunakan basis pemrograman komputer dengan hasil berupa kumpulan data-data numeris. Data-data numeris tersebut perlu ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik atau gambar, serta pengelompokan lain tergantung bentuk mana yang paling mudah untuk dicerna dan dimanfaatkan.

Di industri data-data histori banyak dikumpulkan dalam bentuk data *logbook* di masing masing peralatan dan sistem. Data data tersebut sangat bermanfaat untuk dijadikan *database* dan analisa statistik. Data-data tersebut bisa diolah sesuai dengan kebutuhan dengan mengamati pengaruh dari masing-masing variabel yang berpengaruh.

Selain analisis data menggunakan cara-cara analisis yang standard, tidak kalah penting bahwa *engineering judgement* juga sering dimanfaatkan untuk menentukan perancangan, optimasi, kontrol dalam industri. Seorang insinyur yang berpengalaman, sering juga menggunakan intuisinya dalam menaksir dan menilai data-data yang dihasilkan dari perhitungan atau pemrograman komputer dengan kewajaran nilai data-data tersebut berdasarkan pengalaman dan standard yang berlaku.

3.4. Desain proses dan peralatan proses

Manusia adalah salah satu makhluk Allah yang dimuliakan kedudukannya dengan dikaruniai akal pikiran melebihi makhluk-makhluk lainnya. Bila akal pikiran digunakan dengan baik dan benar, maka seseorang akan bisa memberikan kemanfaatan bagi dirinya dan juga ke sesama dan lingkungan sekitarnya. Dengan akal pikiran yang ada, manusia mampu berkembang dan beradaptasi dari jaman ke jaman berikutnya.

Dalam hal menghasilkan produk dan barang untuk kepentingan manusia, kemampuan manusia dalam mendesain proses dan peralatan proses pun terus berkembang. Saat sebelum pemodelan matematis dan komputasi belum berkembang dengan pesat, desain/perancangan proses dan peralatan proses banyak menggunakan cara *trial and error*, *experiment* dan pengalaman (*the rule of thumb* atau *experiences*). Pengalaman lapangan yang banyak dari para insinyur dari berbagai bidang ilmu dirangkum dan dibuatkan standard sesuai pengalaman, keamanan, ekonomi melahirkan aturan-aturan standard (*the code of standard*) dalam mendesain proses dan peralatan proses.

Dengan berkembang pesatnya pemodelan matematis dan komputasi, desain/perancangan proses dan peralatan proses yang semula mengandalkan cara-cara lama di atas, bergeser dengan simulasi

proses dan peralatan proses. Penggunaan *software* simulasi perancangan alat/proses berkembang dengan pesat seperti *Aspen*, *Hysis* dan *software* sejenis. Termasuk penggunaan *software* untuk peralatan yang spesifik semisal khusus untuk HE, tangki, reaktor dan sejenisnya.

3.5. *Software* simulasi perancangan proses

Perkembangan teknologi komputer memberi banyak pengaruh pada berbagai bidang ilmu dan pengetahuan, termasuk salah satunya adalah munculnya *software* simulasi perancangan proses. *Software* simulasi ini berkembang dengan pesat, memanfaatkan pengembangan model matematis yang berlaku untuk berbagai peralatan industri dengan menggunakan pendekatan prinsip *chemical engineering tools* dan diselesaikan umumnya secara numeris. Berbagai algoritma perhitungan yang rigid, stabil dan akurat terus dikembangkan dan diaplikasikan.

Sampai saat ini *software* simulasi perancangan proses yaitu *Aspen Plus* termasuk yang paling lengkap dan mendominasi baik di dunia pendidikan ataupun di industri. Selain *Aspen plus* banyak juga *software* simulasi yang mempunyai fungsi sejenis untuk perancangan proses yaitu *Hysis (Unisim Design)*, *ChemCad*, *ProSimPlus*, *VMGSim* dan banyak lain.

Software-software tersebut umumnya dapat digunakan untuk menghitung sifat fisis dan kimia bahan, sifat termodinamika bahan, perancangan proses dan peralatan proses, evaluasi dan optimasi proses termasuk sampai pada aspek ekonomi.

3.6 Optimasi

Optimasi dalam industri adalah suatu proses atau usaha untuk mendapatkan suatu prediksi keuntungan yang maksimal atau kerugian (penggunaan sumber daya) yang minimal. Optimasi bisa dilakukan dengan melakukan analisis perubahan atas variabel peubah yang dianggap berpengaruh terhadap besarnya keuntungan yang akan didapatkan atau minimnya kerugian (penggunaan sumber daya) yang dibutuhkan.

Software perancangan proses umumnya dilengkapi dengan fasilitas untuk optimasi proses berdasarkan variabel-variabel proses yang bisa dipilih. Berbagai cara metode numeris untuk perhitungan numeris banyak dibahas dan diimplementasikan. Salah satu kelebihan *software* simulasi perancangan proses adalah kemampuan untuk melakukan optimasi berdasarkan data-data proses yang ada secara cepat.

Penentuan variable atau obyek yang dioptimasi sangat fleksibel disesuaikan kebutuhan, bisa dalam cakupan sempit atau kecil, menengah, luas atau besar. Optimasi bisa juga untuk kondisi operasi, teknis ataupun ekonomis. *Software* simulasi perancangan proses juga bisa untuk mensimulasikan kondisi ekstrim, berbahaya atau pun utk persenyawaan yang beracun dan berbahaya. Kombinasi *database* dan fleksibilitas dalam menambahkan *properties* menjadi keunggulan tersendiri bagi *software* ini.

3.7. Kontrol

Dalam merancang, mengoperasikan, memonitor, mengevaluasi dan mengoptimasi suatu proses di industri, hal yang sangat penting diperhatikan adalah kemungkinan adanya gangguan atau disturbansi proses, baik yang terjadi karena adanya gangguan internal ataupun eksternal. Kontrol proses di industri melibatkan berbagai metode atau strategi yang aman, efisien dan tujuan yang diharapkan. Pengaruh gangguan harus dapat diperkirakan, dipelajari dan ditanggulangi supaya gangguan tersebut tidak menyebabkan perubahan yang berarti, kerugian yang besar atau bahkan kecelakaan yang fatal. Kondisi atau hal-hal yang mengganggu beserta gangguan yang dihasilkan dan cara cara penanggulangan gangguan dapat disimulasikan dengan berbagai pemodelan matematis dengan penyelesaiannya. Banyak model yang tidak mudah diselesaikan secara analitis, menjadi mudah diselesaikan dengan numeris dengan bantuan komputer yang canggih dan metode numeris yang berkembang pesat.

Secara umum tipe pengontrolan dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu secara manual, semi otomatis dan otomatis. Pengontrolan manual mengandalkan peran operator dalam mengatur variabel proses

sebagai response terhadap gangguan yang terjadi. Pengontrolan otomatis mengandalkan peran kontroler secara otomatis dalam melakukan pengontrolan. Dalam hal ini ada tiga jenis tipe kontrol otomatis yaitu proporsional, integral dan differensial dan masing masing jenis kontroler mempunyai karakteristik yang berbeda untuk menuju *setting point* yang diharapkan setelah adanya gangguan proses.

3.8. Pemanfaatan PSE dalam berbagai bidang aplikasi

Seperti cabang ilmu yang lain, PSE juga terus berkembang dan bermanfaat. Aplikasi PSE merambah di berbagai industri dan bidang lainnya seperti dalam bidang penyediaan dan pemanfaatan sumber daya energi dan sumber daya alam baik yang terbarukan maupun konvensional (tak terbarukan), PSE mampu menunjukkan peran yang menonjol (Pistikopoulos dkk, 2021). *Process system engineering* juga bisa diaplikasikan di bidang kelestarian lingkungan dan biodiversitas dengan pengkajian *resources recovery, waste management, green engineering, industrial ecology, life cycle analysis* dan lain-lain. Selain itu PSE juga bisa diaplikasikan dalam bidang penelitian industri berkelanjutan (*sustainable development*) serta pengembangan material maju. Juga telah banyak dikaji oleh Sarto (2022) terkait dengan aplikasi AI dalam industri kimia dalam acara pengukuhan guru besar beliau.

4. Pengalaman dalam Simulasi, Pemodelan dan Perancangan Proses

Ketertarikan dalam bidang pengembangan model matematika, simulasi dan perancangan proses beserta aplikasinya sudah muncul sejak kukan penelitian di S1 di tahun 1994. Pemanfaatan biofilm yang tumbuh pada kolom *trickling filter* dengan media penyangga dari butir-butir batu apung untuk menurunkan kadar polutan dari air limbah pabrik susu dimodelkan secara matematis dan disimulasikan dengan menyusun program komputer. Data hasil simulasi dicocokkan dengan data hasil percobaan untuk mendapatkan koefisien transfer massa, difusivitas massa dan kecepatan reaksi penurunan polutan dalam kolom *trickling filter* tersebut.

Berlanjut pada penelitian S2 di tahun 1997-1998. Dalam penelitian tersebut dibuat membran campuran antara senyawa poli vinil alkohol (PVA) yang bersifat hidrofilik dengan poli akrilo nitril (PAN) yang bersifat hidrofobik untuk memisahkan memurnikan etanol dari larutan etanol-air. Pemisahan larutan etanol-air dipisahkan dengan metode pervaporasi menggunakan membran yang dibuat dari PVA dan PAN. Model matematis untuk peristiwa pemisahan etanol-air dikembangkan dan diselesaikan dengan menyusun program komputer dengan algoritma sesuai model matematis yang dikembangkan. Hasilnya divalidasikan dengan fluks dan konsentrasi hasil baik di umpan, permeat dan retentat untuk mendapatkan besaran koefisien transfer massa dan difusivitas efektif senyawa melalui membran yang dibuat (Hidayat, 1998).

Lulus S2 di saat-saat Indonesia masih dalam kondisi sulit sebagai imbas dari krisis ekonomi, dengan takdir dan ketetapan dari Allah saja lah alhamdulillah studi lanjut S3 ke Swedia bisa terwujud dan ini lewat kerjasama yang bagus antara Teknik Kimia FT UGM dengan Teknik Kimia *Chalmers University of Technology, Gothenburg*, Swedia dengan pendanaan dan topik penelitian penuh dari Chalmers. Topiknya adalah penyiapan serbuk gergaji dan potongan kayu untuk umpan bahan baku pabrik pembangkit listrik di Swedia. Dalam pengerjaan penelitian digunakan beberapa *software* aplikasi yaitu *software* TOUGH untuk menghitung pergerakan *moisture* dalam media berpori; gas- *software* CFD yaitu CFX dan FLUENT untuk menghitung pergerakan padat dalam sistem *pneumatic conveying* yang dipelajari; serta *software* Matlab dan *Comsol Multiphysics* untuk penyusunan dan penyelesaian model matematis yang dikembangkan. Dalam pekerjaan tersebut dihasilkan empat publikasi jurnal internasional dan satu buku disertasi S3 dengan penekanan simulasi dengan *software* CFD yaitu FLUENT dan eksperimen di laboratorium proses pengeringan serbuk gerjaji di *pneumatic conveying dryer* (Hidayat dan Rasmuson, 2004; Hidayat dan Rasmuson, 2005; Hidayat, 2005; Hidayat dan Rasmuson, 2007a; Hidayat dan Rasmuson, 2007b).

Dalam hal penelitian, pembimbingan, proyek dan kerjasama, banyak topik yang berkaitan dengan aplikasi PSE dan *software* CFD.

Kerjasama penelitian dengan tim arsitektur untuk evaluasi sirkulasi udara dalam desain rumah hunian (Ariyani dkk, 2019). Dengan menggunakan *software* FLUENT pergerakan aliran udara disimulasikan dengan mengubah-ubah posisi dan ukuran jendela, pintu serta *void* yang ada. Dari situ dapat diperkirakan kondisi optimum yang nyaman dengan artistik rumah yang tetap terjaga. Perancangan proses dan pemurnian biogas menggunakan *software Hysis* untuk pabrik biogas (Sugiarto dkk, 2018). Beberapa variabel peubah disimulasikan untuk mendapatkan kemurnian biogas yang bagus untuk standard biofuel.

Dalam hal pengendalian pencemaran terhadap pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar, dilakukan penelitian secara intensif merancang sebuah *furnace* yang mampu menangkap partikel yang terbebaskan. Simulasi pembakaran biomassa juga disimulasikan menggunakan *software FLUENT* dan hasil simulasinya divalidasi dengan hasil percobaan. Penelitian ini menghasilkan beberapa paper yang dipublikasikan di beberapa jurnal internasional (Nugraha dkk, 2019; Nugraha dkk, 2021; Nugraha dkk, 2023; Nugraha dkk, 2023).

Beberapa pengalaman kerjasama dengan industri juga dilakukan dalam bentuk proyek *problem solving* ataupun penelitian untuk pemahaman fenomena proses. Kerjasama penelitian dengan industri umumnya adalah mensimulasikan dan menganalisis mekanisme kerja dari berbagai peralatan proses berdasarkan hasil simulasi penyusunan model matematis yang dipadukan dengan pemrograman komputer; *software* perancangan seperti *Aspen plus* dan *Hysis*; atau dinamika pergerakan partikel dan fluida dengan *software* CFD seperti *FLUENT*. Beberapa mahasiswa S2 yang dikirimkan oleh perusahaan melakukan penelitian berbasis pemodelan dan simulasi dibimbing secara intensif untuk mendapatkan hasil simulasi yang relatif baik dan berguna untuk pengembangan ilmu dan juga aplikasi di industri dimana mereka bekerja.

Proyek kerjasama Industri sangat penting dilakukan untuk memperkuat basis aplikasi keilmuan dan inovasi, mempererat hubungan dengan industri dan alumni, mempercepat perkembangan fasilitas kampus dan beberapa hal positif lainnya. Beberapa

pengalaman kerjasama dengan industri dan berkaitan erat dengan PSE antara lain penting upgrading kapasitas pabrik semen (1996-1997); *risk assessment* pemipaan minyak PT Pertamina di Kawengan-Menggung (2005); Studi kelayakan *alternative raw material and fuel* untuk pabrik semen (2005-2006); pembuatan paket *operator training simulator* (OTS) untuk unit amonia PT Kaltim (2008-2009) dan (2023); revitalisasi dan problem solving penurunan unjuk kerja pabrik di PT Kujang (2015) dengan menggunakan *software Aspen plus*; evaluasi proses desain proyek Jembatan Tiung Biru oleh PT Rekayasa Industri terkait penggunaan senyawa untuk pencegahan pembentukan metan hidrat (2016-2017) menggunakan *software Hysis*; evaluasi permasalahan *dedusting system* di pabrik NPK PT Pupuk Kaltim (2019); *problem solving* untuk masalah alat *scrubber* menggunakan pendekatan CFD di PT Petrokimia Gresik (2021).

5. Antara Pematangan Konsep Fundamental dan Keteknikan Dengan Pemanfaatan Software Aplikasi

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu cepat, memaksa kita untuk senantiasa bisa beradaptasi menyesuaikan cara atau pola pembelajaran agar tetap bisa memberi kemanfaatan dan mentransfer *knowledge* dan pengalaman yang efektif. Teknik Kimia sebagaimana bidang keteknikan lainnya membutuhkan ilmu-ilmu dasar dan juga ilmu keteknikan untuk memperkokoh pondasi seseorang dalam memahami ilmu keteknikan. Ilmu-ilmu ini umumnya sulit dan kurang disukai karena rumit dan mungkin kering. Namun demikian penguasaan ilmu-ilmu dasar dan juga keteknikan menjadi keniscayaan bagi seorang insinyur untuk bisa berkembang dengan bagus dan alamiah.

Di sisi lain mengoperasikan *software-software* perancangan proses dan CFD relatif lebih mudah dan menyenangkan. Hasilnya mudah dan cepat diperoleh bila konvergen. Problem selanjutnya adalah apakah hasil yang dihasilkan sudah sesuai kenyataan yang sesungguhnya atau tidak. Pada step inilah pemahaman tentang ilmu-ilmu dasar, pengetahuan, pengalaman, *sense of engineering*

(*engineering judgement*) menjadi penting untuk menilai apakah hasil simulasinya wajar dan normal atau tidak.

Pengenalan *software* perancangan terlalu dini memungkinkan mahasiswa menjadi malas dalam belajar tentang ilmu-ilmu dasar dan keteknikan. Sementara pengenalan *software* perancangan di akhir dapat menyebabkan mahasiswa kurang *ter-update* dengan perkembangan terkini dan bisa menyebabkan ketidakpercayaan diri bagi mahasiswa dalam mengaplikasikan *software* perancangan dalam aplikasi-aplikasi perancangan yang dituntut mahir di akhir-akhir masa perkuliahan. Kombinasi penyampaian materi ilmu-ilmu dasar dan keteknikan dan sekaligus pengenalan *software* perancangan proses, memungkinkan keduanya bisa berjalan secara harmonis dan efektif. Perpaduan harmonis dan efektif antara pematangan konsep fundamental dan keteknikan dengan pemanfaatan *software* perancangan dapat memberikan keuntungan besar dalam berbagai bidang termasuk pendidikan, penelitian dan industri.

Beberapa langkah untuk memadukan keduanya adalah dengan cara mengidentifikasi kebutuhan dan tujuan; memilih dan memilah *software* yang sesuai dengan kebutuhan; memahami dan mendalami konsep-konsep dasar ilmu yang sedang disimulasikan; memahirkan diri dengan berbagai menu dan opsi yang ditawarkan oleh *software* serta pengembangannya; mendapatkan obyek nyata yang bisa disimulasikan melalui kerjasama dengan industri dan institusi penelitian; dan selalu mengikuti perkembangan terbaru dari *software-software* perancangan yang ada dengan aplikasinya.

6. Perkembangan PSE pada Masa Mendatang

Kemajuan teknologi digital, *internet of things* (IoT), komputer, ilmu dasar dan keteknikan berkembang dengan sangat cepat saling mempengaruhi perkembangan berbagai macam ilmu pengetahuan dan teknologi termasuk PSE. Perkembangan PSE di masa mendatang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perkembangan teknologi, tuntutan industri, perubahan paradigma *system engineering*.

Perkembangan teknologi digital khususnya integrasi teknologi digital berupa penerapan IoT, *big data analytics* dan AI sangat

berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi operasional dan pengambilan keputusan. Di industri, kebutuhan akan *integrated digital platform* untuk memonitor, mengontrol, mengoptimalkan sistem proses secara real time juga menjadi keharusan. Model berbasis data dan histori juga akan berkembang dengan pesat untuk mengoptimalkan proses dengan data *real time*.

Simulasi dan desain proses akan berjalan lebih cepat seiring dengan kemajuan teknologi komputer (*hardware: memory and processor*), perbaikan algoritma perhitungan yang makin efisien, akurat, stabil, *robust* dan *rigid*. Hal ini memungkinkan untuk penyelesaian problem- problem secara lebih kompleks dan simultan bisa diselesaikan lebih cepat dan *realible*.

Tuntutan jaman dimana industri harus mengembangkan teknologi yang berkelanjutan dan efisien dalam menggunakan energi dan sumberdaya (SDA). Dalam hal ini PSE bisa dimanfaatkan untuk melakukan simulasi-simulasi proses untuk tujuan keberlanjutan, inovasi dan efisiensi SDA tersebut.

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Capaian yang saya raih sebagai Guru Besar di bidang *system engineering* di Universitas Gadjah Mada tidak akan dapat terwujud tanpa takdir dan izin dari Allah SWT, *Rabb* pencipta alam semesta. Pada bagian akhir pidato pengukuhan ini, perkenankan saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan kepercayaan sebagai Guru Besar dalam bidang *System Engineering*.
2. Rektor dan Senat Akademik UGM, Dekan dan Senat Akademik Fakultas Teknik, tim penilai, Ketua Departemen Teknik Kimia dan seluruh pihak yang telah menyetujui usulan saya sebagai Guru Besar.

Semoga amanah sebagai seorang Guru Besar ini dapat saya laksanakan dengan setulus hati dan sebaik-baiknya sebagai bentuk ketaatan kepada

Allah dan Rosul-Nya serta darma bakti kepada Republik Indonesia melalui UGM yang saya banggakan.

Salam ta'dzim saya sampaikan kepada:

Sege nap guru-guru saya dan staf kependidikan di SDN Panggang V Jepara, Madrasah Diniyyah Ibtidaiyah Al-Mubtadi Kauman Jepara, SMPN 1 Jepara, dan SMAN 1 Jepara, Jawa Tengah.

Prof. Ir. Rochmadi, SU, PhD, IPU, ASEAN Eng sebagai DPA dan dosen penguji skripsi, dosen pembimbing penelitian S2, dosen pembimbing di Lab Teknologi Polimer dan sekaligus terima kasih telah bersedia mereview draft pengukuhan GB ini.

Prof. Ir. Hary Sulisty o, SU, PhD, IPU; Dr. Ir Aswati Mindaryani, MSc, IPU; dan Ir. Wahyu Hasokowati, MASc, IPM masing-masing selaku pembimbing kerja praktek, penelitian dan skripsi S1.

Alm Dr. Ir. Bardi Murachman, SU, DEA sebagai dosen pembimbing penelitian S2 dan senior yang banyak membantu pengembangan diri saya. Alm Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, PhD selaku dosen senior yang mengenalkan kepada saya apa itu profesi dosen dan banyak membantu pengembangan diri saya, mengajarkan apa arti ikhlas dalam berbuat, ringan hati dalam membantu serta menghormati orang bukan dari jabatan dan kekayaannya.

Prof. Ir. Suryo Purwono, MASc, PhD, IPU, ASEAN Eng, ACPE yang telah banyak membantu secara finansial di masa-masa awal menjadi dosen walaupun sebetulnya peran saya sangat minim dalam membantu pekerjaan beliau, sungguh tidak terlupakan. Memberikan banyak arahan pada saat menjadi Ketua Jurusan Teknik Kimia, serta terima kasih banyak juga telah bersedia mereview draft pengukuhan GB ini.

Prof. Ir. I Made Bendiyasa, MSc, PhD, yang membukakan jalan bagi saya untuk bisa meneruskan kuliah S3 ke *Chalmers Tekniska Högskola (Chalmers University of Technology)* melalui Prof Bengt Andersson dan akhirnya ke Prof. Anders Rasmuson.

Prof. Anders Rasmuson dari *Chalmers Tekniska Högskola* sebagai dosen pembimbing S3 saya dan sekaligus membiayai perkuliahan. Dengan sabar beliau mengajarkan filosofi ilmu

perancangan proses dan keteknik-kimiaan serta bagaimana mempublikasikan hasil penelitian ke jurnal internasional bereputasi.

Prof. Ir. Bambang Soehendro, MSc, DESc; Prof. Dr. Ir. Sarto, MSc, IPU, ASEAN Eng; Prof. Ir. Arief Budiman, MS, DEng, IPU; Prof. Ir. Panut Mulyono, MEng, DEng, IPU, ASEAN Eng; Ir. Moh Fahruzzozi, M.Sc, PhD, IPU; Ir. Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah, ST, MT, DEng, IPM; para dosen yang sudah mendahului kita serta semua dosen teknik kimia FT UGM yang tidak tersebut satu persatu karena keterbatasan waktu. Pengalaman dan bimbingannya banyak membantu saya dalam mengembangkan diri.

Ir. Wiratni, ST, MT, PhD, IPM teman seperjuangan sejak S1 dan S2, menjadi dosen bersama-sama, menjadi pengurus departemen bersama di awal th 2007. Banyak kenangan suka dan duka serta sharing cerita- cerita.

Dr. Ing. Ir. Teguh Ariyanto, ST, MEng, IPM, ASEAN Eng selalu mendorong saya untuk mau memulai mendata dan menghitung perkiraan perolehan PAK dan juga Prof. Ir. Jamasri, PhD, IPU, ASEAN Eng telah membantu memantapkan keyakinan untuk mengajukan kenaikan pangkat ke GB.

Salam hormat dan terimakasih saya haturkan bagi sesepuh di Fakultas Teknik UGM, Prof. Ir. Sudjarwadi, MEng, PhD; Prof. Ir. Nizam, MSc, PhD, IPU, ASEAN Eng; Prof. Ir. Sudaryono, MSc, PhD, IPU; Prof. Ir. T. Yoyok Wahyu Subroto, MEng, PhD, IPU; Prof. Ir. Radiana, MSc, PhD; Prof. Ir. Priyo Sulistyono, MSc, PhD; Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA, IPM, ASEAN Eng, Prof. Dr. Ir. Harwin Suptoadi, MSE, IPM, ASEAN Eng., Ir. Muhammad Waziz Wildan, MSc, PhD, IPU, yang telah membimbing saya dengan ilmu dan kebijaksanaannya.

Saya haturkan terimakasih untuk kolega dan mitra atas kerjasama dan berbagi pengetahuan yang berharga yang membuat saya untuk terus mengembangkan keilmuan: Prof. Bengt Andersson, Prof. Ronnie Andersson (CTH, Swedia) dan Prof. Dr. Ir. Harwin Suptoadi, MSE, IPM. bersama membimbing mahasiswa S3 CTH; Prof. Claes Niklasson dan Prof. Derek Craeser (CTH, Swedia) sebagai partnert mengajar dalam program Erasmus Mundus; Prof. Mohammad Taherzadeh (BU, Swedia) sebagai partner kerjasama penelitian

pemanfaatan spesial tekstil untuk digester produksi biogas dari limbah POME di industri sawit dengan pembiayaan dari Swedish research institute; Prof. Hinode (TIT, Jepang) tuan rumah program SAKURA pertukaran dosen; Prof. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, ST, MT selaku partnert penelitian RKI; Prof. Ir. Hary Sulistyoyo, SU, PhD, IPU, Alm Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, PhD, Prof. Ir. Rochmadi, SU, PhD, IPU, ASEAN Eng, Prof. Ir. Suryo Purwono, MASc, PhD, IPU, ASEAN Eng, ACPE, Prof. Dr. Ir. Sarto, MSc, IPU, Prof. Ir. Arief Budiman, MS, DEng, IPU, Prof. Ir. Panut Mulyono, MEng, DEng, IPU, ASEAN Eng, Ir. Moh Fahruzzozi, MSc, PhD, IPU, Ir. Sutijan, MT, PhD, Prof. Sang Kompiang Wirawan, ST, MT, PhD, Ir. Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah, ST, MT, DEng, IPM, Ir. Yuni Kusumastuti, ST, MEng, DEng, IPM, Ir. Rochim Bakti Cahyono, ST, MSc, PhD, IPM, Ir. Teguh Ariyanto, ST, MEng, IPM, ASEAN Eng melakukan penelitian bersama atau pembimbingan mahasiswa S3 bersama.

Pengurus Departemen Teknik Kimia periode 2007-2011, 2011-2015, 2016-2020, 2021-2026: Prof. Ir. Suryo Purwono, MASc, PhD, IPU, ASEAN Eng; Ir. Moh Fahruzzozi, MSc, PhD, IPU; Prof. Dr. Ir. Sarto, MSc, IPU; Ir. Wiratni, ST, MT, PhD, IPM; Ir. Suprihastuti Sri Rahayu, MSc, IPU; Dr. Ir Aswati Mindaryani, MSc, IPU; Ir. Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah, ST, MT, DEng, IPM; Ir. Yuni Kusumastuti, ST, MEng, DEng, IPM; Ir. Rochim Bakti Cahyono, ST, MSc, PhD, IPM; Ir. Muhammad Mufti Azis, ST, MT, PhD, IPM; Lisendra Marbelia, ST, MSc, PhD; Ir. Teguh Ariyanto, ST, MEng, IPM, ASEAN Eng; yang dibantu juga oleh Bu Sri, Pak Ngadenan, Pak Sarip, Bu Wulan, Bu Nolo, Bu Tina, Bu Risma, terimakasih atas kebersamaan dalam menjalankan tugas.

Pengurus Fakultas Teknik UGM 2021-2026: Prof. Ir. Selo, ST, MT, MSc, PhD, IPU, ASEAN Eng, Prof. Dr. Ir. Sugeng Supto Surjono, ST, MT, IPU, ASEAN Eng, Ir. Ali Awaludin, ST, MEng, PhD, IPU, ACPE, Prof. Ir. Tumiran, MEng, PhD, Prof. Ir. Lukito Edi Nugroho, MSc, PhD, Ir. Jarot Setyowiyoto, MSc, PhD, IPU, ASEAN Eng, Dr. Faridah, ST, MSc, Dr. Ir. Inggar Septhia Irawati, ST, MT, IPM, Indra Perdana, ST, MT, PhD, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, ST, MT, IPM, Dr.

Ahmad Nasikun, ST, MSc, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, ST, MSc, PhD, IPU, ASEAN Eng, Jimly Al Faraby, ST, MSc, PhD, Dr. Eng. Ir. Herianto, ST, MEng, IPU, Doni Agus Wijayanto, SE, MM, Nawawi, SE, MM, Suryani, SE, Purwoko, SIP, MA, Rita Kurniawaty, SE, MSc, Mbak Nawang beserta tim keuangan, Mas Juwari beserta tim SDM dan tim kenaikan pangkat dan jabatan FT, Mas Joko Samiono beserta tim pengadaan, Mas Lukas beserta tim aset, Mas Bisri bersama tim sarpras, Mas Eko bersama tim IT, Pak Munaji bersama tim SKK, terimakasih atas tim yang kompak dan saling mengisi dalam mengabdikan bagi Fakultas Teknik UGM.

Teman teman WD KSDMA UGM periode 2021-2026 dibawah kepemimpinan Presiden dan Wakil Presiden WD yaitu Prof. Dr. Kuncoro Harto Widodo, STP, MEng dan Dr. Sumaryono, MSi, Psikolog.

Teman-teman berbagai Direktorat di UGM khusus Direktorat SDM, telah banyak membantu proses kenaikan pangkat ke GB kami dan juga kerjasama dalam berbagai urusan kepegawaian. Teman-teman tendik, para mahasiswa bimbingan sarjana, magister, dan doktoral, serta Dharma Wanita dan keluarga besar Departemen Teknik Kimia dan Fakultas Teknik yang selalu memberikan dukungan moril.

Ucapan terimakasih juga saya haturkan bagi pengurus dan kolega di Aptekindo (nama lama) atau Aptekim (nama baru) dari periode awal hingga sekarang dan juga yang akan datang atas dukungan yang luar biasa dan kontribusi yang tidak henti untuk kemajuan Teknik Kimia di Indonesia.

Mitra kerjasama pemerintah dan industri yaitu Kemendikbud ristek melalui berbagai skema pembiayaan penelitian dan pengabdian; PT Semen Nusantara Cilacap; PT Semen Cibinong (Holcim); PT Semen Gresik; PT Pertamina; PT Rekayasa Industri; PT Tracon; PT Pupuk Kujang; PT Petrokimia Gresik; PT Pupuk Sriwijaya; PT Pupuk Iskandar Muda; PT Pupuk Kaltim; PTJB Paiton;

Kolega-kolega reviewer penelitian nasional dan UGM, evaluator IABEE, asesor LAM Teknik, reviewer beasiswa LPDP, reviewer beasiswa BPI, reviewer beasiswa IISMA atas kebersamaannya dan *sharing* pengalaman dalam menjalankan tugas.

Rekan-rekan yang bersama-sama menimba ilmu khususnya untuk keluarga impaz kelas 3 A1-1, terimakasih atas jalinan silaturahmi yang sudah terjalin selama 35 tahun dan keluarga code91 yang selalu aktif dengan ide-ide segarnya, keluarga kolak Gothenburg, Swedia sejak tahun 1999 mengisi salah satu bagian hati di saat saat sepi di luar negeri, warga perumahan Jombor Kapling dan Masjid Muqorrobin yang menjadi bagian pengisi sisi-sisi sosial lebih khusus Pak Muhammad Fahrurrozi Syafi'i yang telah sabar dan telaten untuk menyimak hafalan Al Quran saya setiap habis subuh sejak beberapa tahun terakhir hingga sekarang.

Ucapan terimakasih yang istimewa dan sungkem untuk kedua orang tua saya Alm Bapak Mohammad Anwar dan Ibu Hj. Malichatun yang mengasuh dan mendidik saya sebelum ada di dunia ini, mengenalkan siapa Allah dan Nabi Muhammad, mengajarkan Al Quran, sholat, untuk memegang teguh integritas dan mengajarkan kepada saya kemandirian, serta mendo'akan dengan tulus dan tanpa batas.

Ucapan terimakasih yang istimewa dan sungkem juga untuk kedua mertua saya Alm Bapak H Kamil dan Almh Ibu Hj. Surati yang mengasuh dan mendidik istri dengan didikan yang sangat baik sehingga saya dapati istri saya yang insyaallah sholihah.

Puji syukur Alhamdulillah Ya Allah yang telah tiada terhitung nikmat yang dilimpahkan kepada kami, Semoga Allah SWT memberikan tempat terindah bagi almarhum dan almarhumah bertiga orang tua kami serta mbah-mbah kami yang tidak sempat menyaksikan acara ini serta melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta kesehatan untuk Ibu kami yaitu Hj Malichatun.

Semua kakak dan adik tercinta: Siti Nurjannah beserta keluarga dan cucu; Muhammad Anugroho beserta keluarga; Mujahidin Ma'ruf beserta keluarga; Bilal Ma'ruf beserta keluarga; Ghofar Rozaq Nazila beserta keluarga; Awaluddin Assalam beserta keluarga; Akhiruddin Annafi beserta keluarga; Rois Mubarak beserta keluarga; Amron Muzakki beserta keluarga; Yusri Qoniatun; Muhda Basrowi; Budhe, Pakdhe, Bulik, Paklik, semua keponakan, keluarga besar Bani

Mahmud, Bani Haman, Bani Sarwi, Bani Martorejo yang semoga dirahmati Allah Swt.

Teruntuk anak-anak sholih/sholihah yang kami sayangi: Baihaqi Ghozali Hidayat, Naira Salma Hidayat dan Bariq Tirmidzi Hidayat, terimakasih atas bakti, sayang, dan doamu untuk Bapak dan Ibu, dan kesediaanmu menerima segala keterbatasan Bapak dan Ibu. Terus doakan Bapak, Ibu dan Mbah-mbahmu semua dan kami pun akan senantiasa mendoakan kamu semua dan anak keturunanmu kelak, semoga doa-doa ini menjadi amal jariyah yang tidak terputus bagi kita semua.

Last but not least, untuk pendamping hidup saya yang saya sayangi dengan segenap hati, Prof Dr. Ria Millati, ST, MT, atas cinta kasih sayang yang tiada bersyarat dalam meniti perjalanan rumah tangga yang sudah dilalui selama 26,5 tahun, yang senantiasa taat membersamai dalam suka maupun duka dalam kuliah, merawat dan membesarkan anak-anak dan juga meraih GB secara bersama. Ucapan terimakasih tidaklah cukup. Semoga Allah yang akan memberikan balasan yang jauh lebih baik dan menjaga keluarga kita agar selalu sakinah mawaddah wa rohmah, amiin ya rabbal alamiin. Semoga kita tetap dikumpulkan oleh Allah baik di dunia terlebih-lebih di akhirat kelak sebagaimana Allah janjikan di Surat Ath Thuur ayat 21

يُحَوِّرُ عَيْنَ ۙ وَالَّذِينَ ءَامَنُوا وَاتَّبَعَتْهُمْ ذُرِّيَّتُهُمْ بِإِذْنِ الْحَقِّ ۖ
بِهِمْ ذُرِّيَّتُهُمْ وَمَا أَلْتَنَّهُمْ مِنْ عَمَلِهِمْ مِنْ شَيْءٍ كُلُّ امْرِئٍ بِمَا كَسَبَ
رَهِيْنٌ ۙ وَأَمَدَدْنَاهُمْ بِفِكَهَةٍ وَلِحْمٍ وَمَا إِشْنُوهُنَّ ۙ يَنْزِعُونَ

Dan orang-orang yang beriman, beserta anak cucu mereka yang mengikuti mereka dalam keimanan, Kami pertemukan mereka dengan anak cucu mereka (di dalam surga), dan Kami tiada mengurangi sedikit pun pahala amal (kebajikan) mereka. Setiap orang terikat dengan apa yang dikerjakannya.

Akhirnya, kepada semua Bapak dan Ibu yang telah meluangkan waktu dengan sabar dan tulus mendengarkan pidato pengukuhan ini,

baik yang berada di ruang Balai Senat Universitas Gadjah Mada, maupun yang mengikuti secara daring via zoom atau youtube dimanapun Bapak dan Ibu berada. Kami ucapkan terimakasih dan apresiasi sedalam- dalamnya serta memohon maaf atas segala kekhilafan dan kesalahan. Semoga Allah memberkahi kita semua.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wa Barakaatuhu

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Sugiarto, **Muslikhin Hidayat**, Sutijan and Sarto, 2018, “Dynamic Performance of Water Scrubbing System in Biogas Purification”, AIP Conference Proceedings, Volume 1977, Article number 020056, 4th International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application: Human-Dedicated Sustainable Product and Process Design: Materials, Resources, and Energy, ICETIA 2017, Surakarta.
- Antewerpen, F.J.V., 1980, “The Origins of Chemical Engineering”, American Chemical Society: Washington, DC.
- Biegler, L.T. and Grossmann, I.E., 2004, “Retrospective on Optimization”, Computer and Chemical Engineering, Vol. 28, No. 8, pp 1169–1192.
- Bultheel, A. and Cools, R., 2010, “The Birth of Numerical Analysis”, Vol. 10, World Scientific, ISBN 978-981-283-625-0.
- Carnahan, B., Luther, H.A., and Wilkes, J.O., 1969, “Applied Numerical Methods”, John Wiley and Sons, Inc., New York, ISBN 0471135070.
- Chan, C.M.E, Dawn, K.E., Lee, N.H. and Dindyal, J., 2019, “Mathematical Education in Singapore”, Part of the Mathematics Education- An Asian Proerspective book series, pp 195-216.
- Cohen, C., 1996, “The Early History of Chemical Engineering: A Reassessment Author(s)”, Clive Cohen Source, The British Journal for the History of Science, June, Vol. 29, No 2, pp 171-194.
- Furter, W.F., 1980, “A Century of Chemical Engineering”, Plenum Press (NY & London), ISBN 0-306-40895-3.
- Gerald, C.F. and Wheatley, 1989, “Applied Numerical Analysis”, Addison-Wesley Publishing Company, Reading.
- Harper, J.I., 1954, “Chemical Engineering in Practice”, Reinhold Publishing Corp., New York.
- Hidayat, M**, 1998, “Pemisahan Etanol-Air Dengan Proses Pervaporasi Menggunakan Membran Poli Vinil Alkohol- Poli Akrilo Nitril

(PVA- PAN)” Tesis S2, Program Studi Magister Teknik Kimia, FT UGM.

- Hidayat, M.**, and Rasmuson, A., 2004, “Numerical Assessment of Gas–Solid Flow in a U-Bend”, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol 82, Issue 3, pp 332-343.
- Hidayat, M.**, 2005, “Heat and Mass Transfer Effects in a U- Bend in Pneumatic Conveying”, *Chemical Engineering Design*, Departement of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Hidayat, M.** and Rasmuson, A., 2005, “Some Aspects on Gas–solid Flow in a U-bend: Numerical Investigation”, *Powder Technology*, Vol. 153, Issue 1, pp 1-13.
- Hidayat, M** and Rasmuson, A., 2007a, “A Computational Investigation of Non-Isothermal Gas–solid Flow in a U-bend”, *Powder Technology*, Vol. 175, Issue 2, pp 104-114.
- Hidayat, M.** and Rasmuson, A., 2007b, “Heat and Mass Transfer in U-Bend of a Pneumatic Conveying Dryer”, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 85, Issue 3, pp 307-319.
- Kendall, E.A., 2023, ”Historical Background of Numerical Analysis”, <https://www.britannica.com/science/numerical-analysis/Historical-background#:~:text=Home%20Science%20Mathematics-,Historical%20background,further%20advancements%20in%20numerical%20methods>, Diakses 20 Nop 2023.
- Maulana G. Nugraha, Harwin Saptoadi, **Muslikhin Hidayat**, Bengt Andersson and Ronnie Andersson, 2019, “Particle Modelling in Biomass Combustion using Orthogonal Collocation”, *Applied Energy*, Vol. 225, pp 1-15.
- Maulana G. Nugraha, Harwin Saptoadi, **Muslikhin Hidayat**, Bengt Andersson and Ronnie Andersson, 2021, “Particulate Matter Reduction in Residual Biomass Combustion”, *Energies*, Vol. 14, No. 11, pp 1-23
- Maulana Gilar Nugraha, Elsava Derangga Mozasurya, **Muslikhin Hidayat**, and Harwin Saptoadi, 2023, “Evaluation of Combustion

- Characteristics in Biomass Residues Open Burning”, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 87, part. 2, pp 40-45.
- Maulana Gilar Nugraha, Daffa Dewa Saputra, Khairullah Ilyas, and **Muslikhin Hidayat**, 2023, “Numerical Investigation of Hydrodynamics in Inline Mixers”, *CFD Letters*, Vol. 15, No. 8, pp 135-147.
- Morari, M. and Lee, J.H., 1999, “Model Predictive Control: Past, Present and Future”, *Computer and Chemical Engineering*, Vol. 23, No. 4–5, pp 667–682.
- Pistikopoulos, E.N., Povoia, A.B, Lee, J.H., Misener, R., Mitsos, A., Reklaitis, G.V., Venkatasubramanian, V., You, F., and Gani, R., 2021, “Process systems engineering – *The generation next?*”, *Computer and Chemical Engineering*, No 147, pp 1-16.
- Ronalds, B.F., 2019, “Bringing Together Academic and Industrial Chemistry: Edmund Ronalds’ Contribution”, *Substantia*, Vol. 3, Issue 1, pp 139-152.
- Sargent, R.W.H., 1983, “Advances in Modelling and Analysis of Chemical Process Systems“, *Computer and Chemical Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp 219-237.
- Sarto, 2022, “Adaptasi dan Integrasi Teknik Kimia di Era Industri 4.0”, *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Teknik Kimia*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sediawan, W.B., dan Prasetya, A., 1997, “Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia”, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Silfia Mona Ariyani, Ari Diana Susanti, **Muslikhin Hidayat**, 2019, “CFD Simulation of Courtyard Dimensions that Optimize the Wind Movement Inside a Transformed House”, *AIP Conference Proceedings Volume 2097*, Article number 030071, 4th International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering, ICIMECE 2018, Surakarta.
- Stephanopoulos, G. dan Reklaitis, G., 2011, “Process Systems Engineering: From Solvay to Modern Bio- and Nanotechnology. A History of Development, Successes and Prospects for the Future”, *Chemical Engineering Science*, Vol 66, pp. 4272-4306.

- Venkatasubramanianm, V., Rengaswamy, R., Yin, K., and Kavuri, S. N., 2003a, “A Review of Process Fault Detection and Diagnosis: Part I: Quantitative Model-based Methods”, *Computer and Chemical Engineering*, Vol. 27, pp 293–311.
- Venkatasubramanianm, V., Rengaswamy, R., and Kavuri, S.N., 2003b. “A Review of Process Fault Detection and Diagnosis: Part II: Qualitative Models and Search Strategies”, *Computer and Chemical Engineering*, Vol. 27, pp 313–326.
- Wan, X., Pekny, J.F., and Reklaitis, G.V., 2005, “Simulation-based Optimization with Surrogate Models-application to Supply Chain Management”, *Computer and Chemical Engineering*, Vol. 29, pp 1317–1328.
- Watson, G.A., 2010, “The History and Development of Numerical Analysis in Scotland: a Personal Perspective (PDF)”, *The of Numerical Analysis*, World Scientific, pp. 161–177, ISBN 9789814469456.
- Westerberg, A., 2004, “A Retrospective on Design and Process Synthesis”, *Computer and Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 4, pp 447–458.
- Wikipedia, 2023, “History of Science”, https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_science, diakses 20 Nop 2023.

BIODATA

Nama : Prof. Ir. Muslikhin Hidayat, ST, MT, PhD, IPU
 Tempat/tanggal lahir : Jepara, 16 Agustus 1973
 NIP : 197308161998031001
 Pangkat/Golongan : Pembina Tk I/IVb
 Jabatan : Guru Besar, 1 Juni 2023
 Alamat Kantor : Departemen Teknik Kimia FT UGM, Jl. Grafika No. 2, DIY 55284
 Email : mhidayat@ugm.ac.id
 Keluarga : 1. Prof. Ria Millati, ST, MT, PhD (Istri)
 2. Baihaqi Ghozali Hidayat (Anak)
 3. Naira Salma Hidayat (Anak)
 4. Bariq Tirmidzi Hidayat (Anak)
 Alamat Rumah : Jl. Amerta IV No 16/73 Sinduadi, Mlati, Sleman, DIY 55284

Riwayat Pendidikan

2018 : Pendidikan Profesi, Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
 1999 – 2005 : Licentiate Engineering (Lic Eng) dan Doctor of Philosophy (PhD) in Chemical Engineering Design, Chalmers University of Technology (Chalmers Tekniska Högskola, CTH), Göteborg, Sweden
 1996 – 1999 : Master Teknik (Summa Cumlaude), Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

- 1991 – 1996 : Sarjana Teknik (Cumlaude), Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
- 1988 – 1991 : SMAN 1 Jepara
- 1984 – 1990 : Madrasah Diniyah Al Mubtadi, Kauman, Jepara
- 1985 – 1988 : SMPN 1 Jepara
- 1979 – 1985 : SDN Panggang V Jepara

Penghargaan

- 2024 : Satya Lencana Karya Satya XXV tahun
- 2019 : Satya Lencana Karya Satya XX tahun
- 2018 : Kaprodi berprestasi peringkat satu di tingkat UGM
- 2017 : Satya Lencana Karya Satya X tahun
- 2004-2005 : Chalmers Salary for doctoral study, Chalmers University of Technology (Chalmers Tekniska Högskola, CTH), Göteborg, Sweden
- 1999-2003 : Chalmers Stipendium for doctoral study, Chalmers University of Technology (Chalmers Tekniska Högskola, CTH), Göteborg, Sweden
- 1999 : Lulus S2 dengan predikat Summa Cumlaude
- 1996 : Lulus S1 dengan predikat Cumlaude
- 1991 : Juara 1 umum SMAN 1 Jepara, Jawa Tengah

Hibah Penelitian Nasional dan Internasional

- 2023 – 2023 : “*Ultrasound-Assisted Extraction* Senyawa Omega-3 dari Daun Krokot (*Portulaca Oleraceae*) dan Mikroenkapsulasi Menggunakan *Spray Drying*”, Didanai oleh Riset Kolaborasi Indonesia antara UGM-UNNES-UNESA
- 2020 – 2023 : “Minimasi Emisi Partikulat dan Karbon Monoksida pada Proses Pembakaran Limbah Biomassa menggunakan Fixed Grate Furnace”, didanai oleh Dikti Ristek
- 2020 – 2022 : “Peningkatan Kualitas Bijih Besi dengan Proses Reduksi Langsung Menggunakan Reduktor Tar dan Cangkang Kelapa Sawit” didanai oleh Dikti Ristek

- 2020 – 2022 : “Optimalisasi Performa Adsorben Nanoselulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Modifikasi Gugus Hidroksi”, didanai oleh Dikti Ristek
- 2015 – 2019 : “Sustainable Small-Scale Production of Energy from Biomass Waste Products” Didanai oleh Swedish Government
- 2015 – 2018 : “Development of Energy Conversion Method from Biomass Waste using Indonesia Low Grade Iron Ore for Enhancing National Energy Security” Didanai oleh Ristek Dikti
- 2016 – 2017 : “Produksi Bahan Bakar Cair Bioetanol Dari Mikroalga yang Ramah Lingkungan”, Didanai oleh Ristek Dikti
- 2015 – 2017 : “Enhanced Biogas Production from Fruit Waste using a Novel Membrane Bioreactor” Didanai Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional, Dikti
- 2013 – 2014 : “Pretreatment of fruit wastes to overcome the inhibitory effect of flavor compounds and to enhance biogas production at biogas pilot plant in Sleman, Yogyakarta”, Didanai oleh Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional, Dikti
- 2013 – 2013 : “Biogas production from palm oil residuals using textile reactor”, Didanai oleh Tillverket, Sweden
- 2011 – 2013 : “Bioconversion of Fruit Waste into Biogas”, Didanai oleh SIDA Sweden
- 2008 – 2008 : “Mathematical Modelling of Pressure Swing Adsorption Applied for Ethanol Purification by using Fixed Bed Column”, LPPT UGM
- 2007 – 2008 : “Production of Ethanol-Fuel from Lignocellulosic Wastes”, Didanai oleh Research on Science and Technology Capacity Development, Ministry of Research and Technology

Asosiasi Profesional

2010 – sekarang : *Institution of Chemical Engineers (ICHEME)*

2012 – sekarang : Aptekim

2015 – sekarang : Persatuan Insinyur Indonesia (PII)

Riwayat Kerja dan Jabatan

- 2021 – sekarang : Wakil Dekan Bidang Keuangan, SDM dan Aset, Fakultas Teknik UGM
- 2021 – 2021 : Ketua Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
- 2016 – 2020 : Kaprodi S1 Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
- 2014 – 2018 : Kepala Labratorium Komputasi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
- 2010 – 2015 : Pengurus Departemen Bidang Keuangan dan SDM, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
- 2007 – 2010 : Pengurus Jurusan Bidang Kemahasiswaan dan Sarana-prasarana, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
- 1996 – sekarang : Dosen Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Publikasi Ilmiah dengan H-indeks Scopus = 11 (5 tahun terakhir, terindeks Scopus)

1. Toif, M.E., **Hidayat, M.**, Rochmadi and Budiman, A., 2023, “Heterogeneous Reaction Model for Evaluating the Kinetics of Levulinic Acid Synthesis from Pretreated Sugarcane Bagasse”, International urnal of Technology (IJTech), Vol 14, No 2 (**Q2**).
2. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B., **Hidayat, M.**, Darsono, N., Timuda, G.E. and Khaerudini, D.S., 2023, “ Evolution of solid contents in vinasse waste during electrocoagulation process at various current densities: Experimental and kinetic analyses”, Journal of Water Process Engineering, Vol 53, 103758 (**Q1**).
3. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B. and **Hidayat, M.**, 2023, “ Effect of Fe Addition on Anaerobic Digestion Process in Treating Vinasse: Experimental and Kinetic Studies”, Periodica Polytechnica Chemical Engineering, Vol 67, No 1, pp 127-140 (**Q3**).

4. Mutiara, T., Fahrurrozi, M., Sulisty, H. and Hidayat, M., 2023, "Green synthesis methods and characterization of bacterial cellulose/silver nanoparticle composites", *Green Processing and Synthesis*, Vol 12, pp 1-11 (Q1).
5. Wijanarko, A., **Hidayat, M.** and Sutijan, S., 2023, "Evaluation of Jet Flooding in Distillation Column Olefins Plant on Naphtha to LPG Feed Substitution", *Chemengineering*, Vol 7, Issue 63, pp 1-16 (Q1).
6. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B., **Hidayat, M.**, Darsono, N., and Khaerudini, D.S., 2023, "Enhancement of biogas production from sugarcane molasses-based distillery wastewater with electrocoagulation pretreatment using iron electrodes", *Bioresource Technology Reports*, Vol 24, 101614 (Q1).
7. Padil, Putra, M.D., **Hidayat, M.**, Kasiamdari, R., Mutamima, A., Iwamoto, K., Darmawan, M.A. and Gozan, M., 2023, "Mechanism and kinetic model of microalgal enzymatic hydrolysis for prospective bioethanol conversion", *Royal Society of Chemistry*, Vol 12, pp 21403-21413 (Q1).
8. Toif, M.E., **Hidayat, M.**, Rochmadi and Budiman, A., 2023, "Levogluconan as the Intermediate Product on the Pre-treated Sugarcane Bagasse Hydrolysis Catalyzed by Brønsted Acid", Vol 25, pp 234-244 (Q2).
9. Sulistiawati, E., Rochmadi, **Hidayat, M.** and Budiman, A., 2023, "Enhancement of Phycocyanin Extraction from Dry *Spirulina Platensis* Powder by Freezing-Thawing Pre-treatment", *International Journal of Technology (IJTech)*, Vol 14, No 4 (Q2).
10. Nugraha, M.G., Saputra, D.D., Ilyas, K. and **Hidayat, M.**, 2023, "Numerical Investigation of Hydrodynamics in Inline Mixers", *CFD Letters*, Vol 15, No 8 (Q2).
11. Zulkania, A., Rochmadi, R., **Hidayat, M.** and Cahyono, R.B., 2022, "Reduction Reactivity of Low Grade Iron Ore-Biomass Pellets for a Sustainable Ironmaking Process", *Energies*, Vol 15, Issue 1, pp 1-16 (Q1).
12. **Hidayat, M.**, Aqilah, N.A. and Winata, A., 2022, "Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Bunch using Caustic Soda Solution for

- Lignin Isolation”, *Journal of Applied Science and Engineering*, Vol. 25, No 6, pp 1025-1030 (Q2).
13. Mutiara, T., Fahrurrozi, M., Sulisty, H. and **Hidayat, M.**, 2022, “Facile route of synthesis of silver nanoparticles templated bacterial cellulose, characterization, and its antibacterial application”, *Green Processing and Synthesis*, Vol 11, pp 361-372 (Q1).
 14. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B. and **Hidayat, M.**, 2022, “Experiment and kinetic analysis of the effect of agitation speed on electrocoagulation process for the treatment of vinasse”, *Journal of Water Process Engineering*, Vol 50, 103144 (Q1).
 15. Zulkana, A., Rochmadi, R., **Hidayat, M.** and Cahyono, R.B., 2021, “Investigation into Biomass Tar-Based Carbon Deposits as Reduction Agents on Iron Ore Using the Tar Impregnation Method”, *Metals*, Vol 11, pp 1-14 (Q1)
 16. Toif, M.E., **Hidayat, M.**, Rochmadi, R. and Budiman, A., 2021, “Reaction Kinetics of Levulinic Acid Synthesis from Glucose Using Bronsted Acid Catalyst”, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, Vol 16, No 4, pp 904-915 (Q3).
 17. Nugraha, M.G., Saptoadi, H., **Hidayat, M.**, Andersson, B. and Andersson, R., 2021, “Particulate Matter Reduction in Residual Biomass Combustion”, *Energies*, Vol 14, pp 1-23 (Q1).
 18. Susanti, D.Y., Sediawan, W.B., Fahrurrozi, M. and **Hidayat, M.**, 2021, “Foam-mat drying in the encapsulation of red sorghum extract: Effects of xanthan gum addition on foam properties and drying kinetics”, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, Vol 20, pp 270–279 (Q1).
 19. Susanti, D.Y., Sediawan, W.B., Fahrurrozi, M., **Hidayat, M.**, Putri, A.Y., 2021, “Encapsulation of red sorghum extract rich in proanthocyanidins: Process formulation and mechanistic model of foam-mat drying at various temperature”, *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, Vol 164, pp 1-12 (Q1).
 20. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B. and **Hidayat, M.**, 2021, “Effect of Current and Initial pH on Electrocoagulation in Treating

the Distillery Spent Wash with Very High Pollutant Content “, Water, Vol 13 No 11, pp 1-20 (Q1).

21. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B. and **Hidayat, M.**, 2021, “The New Mechanistic Model to Illustrate the Complex Phenomena in Electrocoagulation Process of Vinasse”, Polish Journal of Environmental Study, Vol 30, No 4, pp 3249-3259 (Q2).
22. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B. and **Hidayat, M.**, 2020, “Mechanistic model of electrocoagulation process for treating vinasse waste: Effect of initial pH”, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol 8, Issue 3, 103756 (Q1).
23. Syaichurrozi, I., Sarto, S., Sediawan, W.B. and **Hidayat, M.**, 2020, “Mechanistic models of electrocoagulation kinetics of pollutant removal in vinasse waste: Effect of voltage”, Journal of Water Process Engineering, Vol 36, pp 1-15 (Q1).
24. Susanti, D.Y., Sediawan, W.B., Fahrurrozi, M., **Hidayat, M.**, 2019, “A Mechanistic Model of Mass Transfer in the Extraction of Bioactive Compounds from Intact Sorghum Pericarp”, Processes, Vol 7, pp 1-19 (Q3).
25. Nugraha, M.G., Saptoadi, H., **Hidayat, M.**, Andersson, B. and Andersson, R., 2019, “Particle modelling in biomass combustion using orthogonal collocation”, Applied Energy, Vol 255, pp 1-15 (Q1).
26. Cahyari, K., **Hidayat, M.**, Syamsiah, S. and Sarto, 2019, “Optimization of Hydrogen Production from Fruit Waste Through Mesophilic and Thermophilic Dark Fermentation: Effect of Substrate to Inoculum Ratio”, Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol 23, No 1, pp 116 - 123 (Q4).
27. Cahyono, R.B., Mansor, M.B., Nomura, T., **Hidayat, M.**, Budiman, A. and Akiyama, T., 2019, “Steam Reforming of Tar Using Low-Grade Iron Ore for Hydrogen Production”, Energy Fuels, Vol 33, No 2, pp 1296-1301 (Q1).
28. Yuliansyah, A.T., **Hidayat, M.**, Annas, A., Faez, Putra, P.W. and Kuswandi, C.T., 2019, “Preparation and Characterization of Bio-Coal Briquettes from Pyrolyzed Biomass-Coal Blends”, Journal of

Engineering Science and Technology, Vol 14, No 6, pp 3569-3581
(Q3).

HAKI (5 tahun terakhir)

2023 : Fisika untuk Teknik Kimia dan Rekayasa Proses – buku