

**Sekilas Mengenai Implementasi Suatu Metode
Numerik dalam Permasalahan-permasalahan
Infiltrasi dari Saluran Irigasi**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Matematika
pada Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
pada tanggal 23 Mei 2023
di Yogyakarta**

Oleh :

Prof. Imam Solekhudin, S.Si., M.Si., Ph.D.

Bismillahirrohmanirrahim.

Assalamu 'alaykum warahmatullohi wabarakatuh.

Selamat pagi, hadirin sekalian.

Yang saya hormati:

Pimpinan dan segenap anggota Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada,

Pimpinan dan segenap anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada,

Pimpinan dan segenap anggota Senat Akademik Universitas Gadjah Mada,

Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,

Para Dekan, Wakil Dekan, dan Ketua Lembaga di lingkungan Universitas Gadjah Mada,

Segenap civitas akademika, khususnya para dosen FMIPA Universitas Gadjah Mada,

Para tamu undangan, handai taulan, kerabat, saudara, keluarga saya, dan para hadirin yang saya muliakan.

Pertama-tama, marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah *Subhanahu Wata'ala.* yang telah melimpahkan karunia-Nya kepada kita semua sehingga pada pagi ini kita dapat berkumpul di forum yang mulia ini dalam keadaan sehat.

Selanjutnya, saya mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Gadjah Mada atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan pidato ilmiah sebagai bentuk tanggung jawab akademik saya sebagai guru besar dalam bidang Komputasi Matematika pada Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada, terhitung sejak 1 Mei 2022, sebagaimana dinyatakan dalam Surat Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 34179/MPK.A/KP.05.01/2022 Tanggal 27 Mei 2022.

Hadirin yang saya hormati,

Materi pidato yang akan saya sampaikan ini termasuk dalam bidang ilmu Komputasi Matematika, yaitu bagian dari Ilmu Matematika yang melibatkan penelitian matematika di bidang sains dan teknik di mana komputasi memainkan peran sentral dan penting. Pada kesempatan ini, perkenankan saya untuk menyampaikan pidato dengan judul:

**“SEKILAS MENGENAI IMPLEMENTASI SUATU
METODE NUMERIK DALAM PERMASALAHAN-
PERMASALAHAN INFILTRASI DARI SALURAN
IRIGASI”.**

Judul pidato ini saya pilih sebab merupakan bagian dari area penelitian-penelitian saya berkaitan dengan implementasi suatu metode numerik, yaitu permasalahan infiltrasi air dari saluran irigasi yang telah saya geluti sejak tahun 2009, saat saya mulai menempuh pendidikan S3.

Hadirin yang saya hormati,

Air merupakan kebutuhan pokok dan sumber daya yang sangat diperlukan dalam kegiatan pertanian. Di daerah di mana curah hujan alami tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman, irigasi merupakan metode vital yang digunakan dalam memasok air di pertanian dan perkebunan untuk tujuan bercocok tanam. Beberapa sarana harus disediakan untuk mengendalikan air, sehingga jumlah air pada kedalaman tanah tertentu cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Selain itu, sistem irigasi yang efisien juga akan mengurangi pemborosan air, terutama di daerah yang airnya tidak melimpah. Oleh karena itu, dua kriteria irigasi yang baik adalah kecukupan dan efisiensi.

Selama berabad-abad, orang telah mengembangkan dan menggunakan sistem irigasi untuk membantu pertumbuhan tanaman, memelihara lanskap serta menjaga kualitas tanah. Sistem irigasi yang dikembangkan untuk mengairi tanaman dan menjaga kualitas tanah secara umum diklasifikasikan menjadi empat jenis: irigasi permukaan, irigasi *sprinkler*, irigasi tetes (*drip irrigation*), dan sistem irigasi bawah permukaan. Irigasi permukaan adalah suatu metode mengalirkan air irigasi di atas permukaan tanah dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Air dialirkan ke ladang di beberapa titik dengan ketinggian lebih tinggi dibanding tempat lain dan dibiarkan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Dalam prosesnya, aliran berkurang karena air menginfiltrasi tanah saat mengalir (Booher, 1974).

Di beberapa negara maju, terutama di mana tingkat infiltrasi tinggi dan penyimpanan air rendah, sistem irigasi *sprinkler*, tetes atau bawah permukaan dianggap sebagai cara yang efektif dan efisien untuk menyediakan air bagi tanaman. Sistem irigasi *sprinkler* adalah metode penyediaan air dengan cara yang mirip dengan curah hujan alami. Air didistribusikan melalui sistem pemiiipan dan disemprotkan ke udara melalui alat penyiram (*sprinkler*) sehingga pecah menjadi butiran-butiran air kecil yang jatuh ke tanah. Sistem suplai pompa, *sprinkler*, dan pengoperasiannya harus dirancang sedemikian sehingga pengaplikasian air seragam. Sistem irigasi tetes adalah metode pemberian air irigasi langsung ke area yang dekat dengan tanaman dengan laju yang sangat rendah, sehingga hanya sebagian tanah tempat akar tumbuh yang disiram. Air didistribusikan melalui pipa plastik kecil dengan outlet yang disebut *dripper*. Sistem irigasi bawah permukaan adalah metode pengaliran air ke tanaman dari bawah permukaan tanah. Air mencapai tanaman melalui pipa atau saluran air yang terkubur, atau rembesan dari saluran drainase. Sistem irigasi ini

menghemat air sebab tidak ada penguapan yang biasanya terjadi pada daerah permukaan.

Terlepas dari keefektifan dan efisiensi ketiga sistem irigasi yang dijelaskan di atas, mereka tidak populer di kalangan petani di negara berkembang. Ini karena investasi modal yang tinggi diperlukan untuk membeli peralatan yang diperlukan. Selain itu, pemeliharaan peralatan ini membutuhkan keterampilan dan pengetahuan teknis. Misalnya, jika air irigasi mengandung terlalu banyak sedimen, maka sistem irigasi *sprinkler* dapat tersumbat, atau tetesan dalam sistem irigasi tetes dapat tersumbat, atau katup yang dipasang di ujung pipa dalam irigasi bawah permukaan juga dapat tersumbat. Selain itu, pasokan bahan bakar dan suku cadang secara teratur diperlukan untuk menjaga agar sistem irigasi tetap bekerja, yang menambah biaya pengoperasian.

Untuk alasan ini, sistem irigasi tetes dan *sprinkler* tidak digunakan oleh sebagian besar petani di negara berkembang. Di negara berkembang, petani biasanya menggunakan sistem irigasi yang murah dan sederhana yang dapat dibangun dan dipelihara secara manual. Karena alasan inilah, studi mengenai irigasi permukaan berupa alur-alur yang ada di perladangan masih sangat penting, karena sistem irigasi alur adalah pilihan umum metode irigasi di musim kemarau. Karena ketersediaan air pada musim kemarau terbatas, sistem irigasi alur harus dibangun sedemikian rupa sehingga desain yang paling efektif dan efisien tercapai. Salah satu perhatian utama dalam sistem irigasi alur adalah bahwa air tidak terdistribusi secara merata. Area dekat alur seringkali lebih jenuh daripada yang jauh dari alur. Jika alurnya terlalu kecil, jumlah air di zona akar mungkin tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Jika terlalu besar, akan ada kelebihan air di alur, membuat sistem tidak efisien. Selain itu, tanah pada sistem irigasi ini tidak jenuh, dan

proses aliran pada tanah yang tidak jenuh umumnya tidak sederhana.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Muncul pertanyaan, bagaimanakah peran matematika pada masalah yang telah saya paparkan? Salah satu peran matematika adalah sebagai pelayan ilmu pengetahuan (*servant of sciences*). Bagi bidang-bidang lain, khususnya terkait masalah yang saya paparkan sebelumnya, peran matematika adalah menyelesaikan permasalahan tersebut melalui pemodelan matematika yang diselesaikan secara numerik yang diimplementasikan dengan pemrograman komputer. Oleh karena itu, selanjutnya ijinkan saya sedikit memaparkan mengenai pemodelan matematika.

Pemodelan matematika adalah suatu proses merepresentasikan masalah nyata ke dalam pernyataan matematika untuk mendapatkan solusi dari masalah tersebut atau untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai permasalahan tersebut. Pemodelan matematika diawali dengan permasalahan nyata yang akan ditentukan solusinya. Pada umumnya permasalahan nyata sangat sulit untuk diselesaikan secara langsung. Agar penyelesaian masalah nyata menjadi mudah, permasalahan tersebut perlu terlebih dahulu dibawa ke dalam pernyataan matematika (model matematika) dengan melakukan asumsi-asumsi tertentu menjadi permasalahan matematika, untuk kemudian diselesaikan baik secara analitik maupun numerik. Solusi permasalahan matematika ini selanjutnya diinterpretasikan ke dalam konteks permasalahan nyata yang sedang diselesaikan.

Langkah berikutnya, yang esensial namun sering terlupakan, yaitu melakukan validasi model baik secara

kualitatif maupun kuantitatif. Validasi secara kualitatif misalnya dengan melakukan variasi parameter kemudian diselidiki pengaruhnya terhadap hasil yang diperoleh. Sedangkan validasi secara kuantitatif adalah dengan cara membandingkan hasil yang diperoleh dengan data-data yang tersedia, baik data simulasi maupun data real. Menggunakan validasi ini, selanjutnya dapat diputuskan apakah model matematika tersebut telah sesuai dengan masalah nyata yang akan dipecahkan ataukah perlu dilakukan perbaikan dengan memperbaiki asumsi-asumsi awal sehingga terbentuk model baru. Siklus ini dilakukan terus-menerus sehingga diperoleh model yang sesuai.

Hadirin yang saya hormati,

Selanjutnya saya akan sedikit memaparkan model matematika untuk masalah infiltrasi di dalam tanah. Model ini diawali dengan eksperimen yang dilakukan oleh Henry Darcy pada tahun 1856, yaitu dengan menempatkan media berpori (tanah atau pasir) pada suatu kolom yang memiliki saluran masuk dan keluar untuk masuk dan keluarnya air.

Dari energi total di dalam media berpori pada ketinggian y dari titik acuan, yaitu $E = \rho g V \psi + mgy + \frac{1}{2}mv^2$, yang terdiri dari energi yang disebabkan oleh interaksi lokal antara air dengan padatan, energi potensial serta energi kinetik, diperoleh *hydraulic head* (energi per unit berat) $\tilde{\Phi} = \psi + y + \frac{v^2}{2g}$. Disini ρ adalah berat jenis air, m adalah massa air, g adalah percepatan gravitasi, V adalah volume air, v adalah kecepatan pergerakan air, dan ψ adalah *suction potential*. Dengan mengasumsikan kecepatan pergerakan air di dalam media berpori relatif kecil dibanding dengan percepatan gravitasi, maka suku $\frac{v^2}{2g}$ dapat diabaikan. Selanjutnya, Darcy membuat postulat: flux air v

proporsional terhadap gradien dari *hydraulic head*. Karena aliran air mengalir dari tempat yang memiliki energi total tinggi ke rendah, maka gradien dari *hydraulic head* selalu bernilai negatif, sehingga hukum Darcy dituliskan secara matematis sebagai $v = -K(\theta)\nabla\Phi$, dengan θ adalah kandungan air di dalam tanah dan K adalah *hydraulic conductivity*.

Selanjutnya, perubahan kandungan air di dalam suatu volume tanah ditentukan oleh selisih flux masuk ke dalam dan flux ke luar dari volume tanah tersebut. Karena flux masuk lebih besar dibanding dengan flux ke luar maka gradien flux selalu bernilai negatif, sehingga secara matematis hal ini dinyatakan dengan persamaan $\frac{\partial\theta}{\partial T} = -\nabla v$, yang selanjutnya disebut persamaan Richards. Untuk infiltrasi dari saluran irigasi, dengan asumsi saluran irigasi sangat panjang, persamaan Richards menjadi $\frac{\partial\theta}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\theta) \frac{\partial\psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\theta) \frac{\partial\psi}{\partial y} \right) - \frac{\partial K(\theta)}{\partial y}$.

Hadirin yang saya hormati,

Setelah saya menyampaikan secara ringkas bagaimana model matematika permasalahan infiltrasi dari saluran irigasi, selanjutnya ijinkan saya akan menyampaikan uraian terkait dengan suatu metode numerik untuk menyelesaikan masalah yang telah saya uraikan, yaitu Metode Elemen Batas (*Boundary Element Method* (BEM)).

Metode Elemen Batas adalah metode numerik untuk menyelesaikan persamaan-persamaan diferensial parsial (PDP) tertentu. Sebagai contoh persamaan Laplace, persamaan Poisson, persamaan Helmholtz, persamaan difusi-konveksi, persamaan elektrostatis dan elektromagnetik, dan persamaan elektrostatis dan elektrodinamik linear (Pozrikidis, 2002). Solusi-solusi PDP tersebut dinyatakan dalam suatu persamaan

integral batas yang memuat solusi fundamental PDP tersebut. Metode ini dinamai dengan metode elemen batas dikarenakan dalam konstruksi metode ini terdapat langkah diskretisasi batas domain menjadi elemen-elemen, yang biasanya berupa penggal-penggal garis lurus yang ujung-ujungnya berimpit satu sama lain. Pendekatan ini memungkinkan BEM digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan sembarang bentuk domain.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Kelahiran BEM dikaitkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ivar Fredholm (1866 - 1927). Pada tahun 1903, Fredholm mempublikasikan paper mengenai aplikasi persamaan integral untuk menyelesaikan masalah syarat batas pada teori potensial (Fredholm, 1903). Metode-metode untuk menyelesaikan persamaan integral ini dikembangkan oleh Trefftz (1917) dan Prager (1928). Namun, untuk mengaplikasikan metode-metode ini dibutuhkan implementasi dalam pemrograman komputer, yang pada saat itu komputer belum secepat dan secanggih saat ini. Sehingga, metode-metode penyelesaian persamaan integral tersebut tidak dapat digunakan secara mudah. Selanjutnya setelah beberapa dekade, tepatnya pada tahun 1963, Jaswon (1963) dan Symm (1963) dapat menunjukkan bahwa solusi numerik dari persamaan-persamaan integral pada permasalahan-permasalahan mengenai teori potensial memiliki keakuratan dan reliabilitas yang baik. Karena pada metode numerik ini, batas domain didiskritisasi menjadi elemen-elemen kecil, maka Brebbia (1978) menamakan metode di atas sebagai Metode Elemen Batas.

Hadirin yang saya hormati,

Selanjutnya ijinkan saya untuk secara ringkas menyampaikan bagaimana BEM digunakan untuk menyelesaikan masalah infiltrasi. Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, perubahan kandungan air di dalam tanah dimodelkan dengan persamaan Richards. Akan tetapi, persamaan ini tidak dapat diselesaikan dengan BEM. Oleh karena itu, persamaan ini ditransformasi menggunakan transformasi Kirchoff, $\Theta = \int_{-\infty}^{\psi} K_0 e^{\alpha s} ds$, variabel-variabel nondimensi $x = \frac{\alpha}{2} X, z = \frac{\alpha}{2} Z$, dan $\Phi = \frac{\pi \Theta}{v_0 L}$, dan transformasi $\Phi = \phi e^z$, menjadi persamaan Helmholtz termodifikasi $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \phi = 0$, yang selanjutnya dengan menggunakan solusi fundamental persamaan Helmholtz termodifikasi, ϕ , dan teorema divergensi Gauss diperoleh persamaan integral, yang disebut sebagai relasi resiprokal,

$$\lambda(\xi, \eta) \phi(\xi, \eta) = \int_C \left\{ \phi(x, z) \frac{\partial}{\partial n} [\varphi(x, z; \xi, \eta)] - \varphi(x, z; \xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} [\phi(x, z)] \right\} ds(x, z).$$

Persamaan integral yang diperoleh diubah menjadi suatu sistem persamaan linear dengan melakukan diskretisasi pada domain. Dengan menggunakan solusi-solusi sistem persamaan linear ini, diperolehlah solusi numerik yang diinginkan.

Hadirin yang saya hormati,

Mencermati kembali BEM, pada metode ini diperlukan solusi fundamental dari persamaan pengaturnya untuk mendapatkan persamaan integral sebagaimana yang telah saya sampaikan sebelumnya. Sehingga metode ini dipandang kurang fleksibel, sebab manakala persamaan pengaturnya berubah maka diperlukan solusi fundamental persamaan yang baru. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu metode elemen batas yang lebih fleksibel, yaitu suatu metode yang dalam konstruksinya

tidak perlu mengubah-ubah solusi fundamental manakala terjadi perubahan pada persamaan pengaturnya. Hal ini membawa kita kepada suatu metode elemen batas yang dikenal dengan *Dual Reciprocity Boundary Element Method* (DRBEM).

Metode DRBEM ini dikembangkan dari metode yang dikonstruksi oleh Bezine (1980). Di dalam studinya, Bezine menyelesaikan permasalahan fibrasi pada plat yang dimodelkan dengan persamaan yang terdiri dari suku-suku *Laplacian* dan parameter frekuensi. Dalam menyelesaikan masalah ini, Bezine memisahkan *Laplacian* dan parameter frekuensi, yaitu menjadi integral *Laplacian* dan integral parameter frekuensi. Untuk integral *Laplacian*, ditempuh cara yang sama sebagaimana menurunkan BEM. Sedangkan integral parameter frekuensi diselesaikan secara numerik dengan melakukan diskretisasi pada batas dan domain. Karena Langkah-langkah pada BEM hanya diterapkan pada suku *Laplacian*, maka solusi fundamental yang digunakan adalah solusi fundamental persamaan Laplace, yang tentunya lebih sederhana dibandingkan dengan solusi fundamental dari model matematika untuk fibrasi pada plat tersebut.

Selanjutnya, Nardini dan Brebbia (1982) menyelesaikan permasalahan elastodinamik menggunakan cara yang hampir sama dengan Bezine. Alih-alih melakukan diskretisasi pada batas dan domain, mereka menggunakan teorema divergensi untuk mengubah integral domain menjadi integral batas. Pada saat menurunkan metode numerik, teorema divergensi Gauss digunakan sebanyak dua kali, yang sama artinya dengan memunculkan relasi resiprokal sebanyak dua kali. Atas dasar inilah metode tersebut selanjutnya dinamakan *Dual Reciprocity Method* (DRM) (Nardini and Brebbia, 1986) atau *Dual Reciprocity Boundary Element Method* (DRBEM).

Hadirin yang saya hormati,

Selanjutnya, secara ringkas saya akan menguraikan DRBEM untuk menyelesaikan masalah infiltrasi dari saluran irigasi di dalam media berpori. Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, masalah infiltrasi ini dapat dimodelkan dengan persamaan Helmholtz termodifikasi. Menggunakan solusi fundamental persamaan Laplace, φ , dan teorema divergensi Gauss diperoleh persamaan integral $\lambda(\xi, \eta)\phi(\xi, \eta) = \int_C \left\{ \phi(x, z) \frac{\partial}{\partial n} [\varphi(x, z; \xi, \eta)] - \varphi(x, z; \xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} [\phi(x, z)] \right\} ds(x, z) + \iint_R \varphi(x, z; \xi, \eta) \phi(x, z) dx dz$.

Persamaan integral ini berbeda dengan yang diperoleh saat mengkonstruksi BEM, yaitu pada persamaan integral ini terdapat integral domain.

Untuk menyelesaikan persamaan integral tersebut, integral $\iint_R \varphi(x, z; \xi, \eta) \phi(x, z) dx dz$, diselesaikan secara numerik dengan mendekati fungsi ϕ dengan fungsi-fungsi radial basis, yaitu $\phi(x, z) \approx \sum_{k=1}^{N+M} \beta^{(k)} \rho(x, z; a^{(k)}, b^{(k)})$, dengan ρ adalah fungsi radial berpusat di $(a^{(k)}, b^{(k)})$, dengan $(a^{(k)}, b^{(k)})$, $k=1, 2, \dots, N+M$, adalah titik-titik kolokasi pada batas maupun di dalam region R . Dari setiap fungsi radial diperoleh suatu persamaan Poisson $\nabla^2 g = \rho$, yang selanjutnya dengan menggunakan teorema divergensi Gauss diperoleh suatu persamaan integral kurva. Selanjutnya dari integral kurva yang baru saja diperoleh dan integral kurva

$$\int_C \left\{ \phi(x, z) \frac{\partial}{\partial n} [\varphi(x, z; \xi, \eta)] - \varphi(x, z; \xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} [\phi(x, z)] \right\} ds(x, z),$$

diperoleh suatu sistem persamaan linear. Menggunakan solusi-solusi sistem persamaan linear ini, solusi numerik yang diinginkan dapat diperoleh.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Selanjutnya, sesuai dengan judul pidato ini, ijinakan saya menyampaikan beberapa implementasi metode-metode elemen batas yang telah saya uraikan untuk menyelesaikan masalah-masalah infiltrasi dari saluran irigasi. Sebelumnya saya akan memaparkan penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan infiltrasi dari saluran irigasi. Diantara peneliti yang mengawali penelitian mengenai masalah infiltrasi dari saluran irigasi adalah Verdat Batu (1978). Dalam studinya, Batu melakukan studi analitik pada permasalahan infiltrasi tunak (*steady*) dari saluran irigasi berbentuk strip, baik strip tunggal maupun strip periodik, dengan mengaplikasikan metode separasi variabel dan transformasi Fourier. Saluran-saluran irigasi berbentuk strip maksudnya adalah saluran irigasi berbentuk “pita” yang ada di atas permukaan tanah, sehingga saluran tersebut tidak mempunyai kedalaman. Saluran irigasi periodik maknanya adalah jumlah saluran irigasi diasumsikan sangat banyak, geometri saluran-saluran tersebut sama, serta jarak suatu saluran dengan saluran-saluran di dekatnya konstan. Menggunakan solusi analitik yang diperoleh Batu, Lobo (2008) menyelidiki akurasi BEM untuk menyelesaikan masalah infiltrasi dari suatu saluran irigasi berbentuk strip. Di sisi lain, akurasi DRBEM untuk menyelesaikan masalah infiltrasi dari saluran-saluran berbentuk strip periodik diselidiki oleh Solekhudin (2013). Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Lobo dan Solekhudin tersebut, BEM dan DRBEM memberikan solusi-solusi numerik yang akurat.

Setelah ditunjukkan bahwa BEM dan DRBEM memberikan solusi yang akurat untuk masalah infiltrasi Batu, penelitian selanjutnya adalah mengimplementasikan metode-metode tersebut pada masalah infiltrasi dari saluran yang bukan berbentuk strip. Sebab, saluran irigasi berbentuk strip tidak

realistis. Berkaitan dengan hal ini, Azis dkk (2003) melakukan studi infiltrasi tunak dari saluran irigasi periodik dengan penampang berbentuk setengah lingkaran dan empat persegi panjang dengan lapisan tak tembus air di bagian bawah. Dalam melakukan studi ini, Azis dkk menggunakan BEM untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, yaitu mensimulasikan kandungan air di dalam tanah. Selanjutnya, menggunakan BEM standar pula, Lobo dkk (2005) berhasil mengembangkan hasil dalam studi Azis dkk. dengan mempertimbangkan adanya suatu benda tak tembus air di dalam tanah. Kemudian, hasil ini dikembangkan dengan membandingkan distribusi air di dalam tanah apabila jumlah lapisan tak tembus air berbeda-beda (Clements et al., 2007).

Pada penelitian-penelitian ataupun studi-studi yang telah saya kemukakan, BEM dapat digunakan untuk mendapatkan solusi numerik pada masalah-masalah infiltrasi tunak. Diantara pengembangan dari hasil-hasil penelitian tersebut adalah bagaimana mengimplementasikan BEM pada masalah infiltrasi bergantung waktu (*time-dependent*), untuk menyelidiki perubahan kandungan air pada lokasi-lokasi tertentu di dalam tanah seiring dengan berjalannya waktu. Berkaitan dengan hal ini Clements dan Lobo (2010) menginvestigasi infiltrasi dari saluran irigasi bergantung waktu, menggunakan BEM disertai dengan transformasi Laplace, untuk mensimulasikan distribusi air di dalam tanah pada waktu-waktu berbeda.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Hasil-hasil studi numerik yang telah saya paparkan berkaitan dengan infiltrasi dari saluran irigasi bukan berbentuk strip diperoleh dengan BEM. Untuk penggunaan DRBEM, Solekhudin (2013) mengaplikasikan metode ini untuk menyelesaikan masalah infiltrasi dari saluran irigasi periodik.

Langkah pertama adalah menyelesaikan masalah infiltrasi dari saluran periodik berbentuk strip yang dikemukakan oleh Verdat Batu. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa solusi numerik yang diperoleh menggunakan DRBEM memiliki akurasi yang baik, terutama pada kedalaman sampai zona perakaran dengan galat relatif 0,3%. Selanjutnya DRBEM diimplementasikan untuk menyelesaikan masalah infiltrasi dari saluran-saluran irigasi periodik dengan penampang melintang berbeda-beda, yaitu setengah lingkaran, persegi panjang dan trapesium. Ke tiga jenis saluran irigasi ini memiliki lebar serta *infiltration rate* yang sama. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan pada distribusi air, yang dinyatakan dalam *suction potential*, di dalam tanah yang dihasilkan dari ke tiga jenis saluran tersebut (Solekhudin and Ang, 2013). Lebih lanjut, infiltrasi tunak dari saluran irigasi periodik trapezium diimplementasikan pada tiga jenis tanah dengan ukuran butiran berbeda-beda. Hasilnya adalah bahwa *suction potential* di dalam tanah berbutiran lembut lebih kecil dibandingkan dengan *suction potential* di dalam tanah berbutiran lebih kasar (Solekhudin and Ang, 2013).

Diantara arah pengembangan penelitian mengenai infiltrasi dari saluran irigasi yang telah diteliti pada paparan sebelumnya adalah dengan mempertimbangkan serapan air oleh akar tanaman. Pada model matematika yang terbentuk, terdapat suku fungsi *root-water uptake* yang merupakan fungsi dari *suction potential*. Hal ini menyebabkan DRBEM yang diformulasikan sebelumnya tidak dapat diimplementasikan. Oleh karena itu, DRBEM yang telah diformulasikan sebelumnya perlu dimodifikasi. Solekhudin dan Ang memodifikasi metode tersebut dengan menambahkan suatu skema *predictor-corrector* di dalam DRBEM (Solekhudin and Ang, 2012, 2015). Hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan *suction potential* bertambah seiring kedalaman tanah sampai dengan kedalaman

tertentu. Setelahnya penurunan *suction potential* cenderung konstan. Selain itu, simulasi tentang jumlah serapan air oleh akar tanaman dari jenis tanah yang berbeda juga dipresentasikan.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Melanjutkan studi-studi sebelumnya, Solekhudin (2018) melakukan studi pada masalah infiltrasi dari saluran periodik berpenampang trapesium disertai fungsi-fungsi *root water uptake* berbeda-beda. Perkiraan serapan air oleh akar tanaman pada zona perakaran disimulasikan. Lebih lanjut serapan air oleh suatu jenis akar tanaman dibandingkan dengan jenis akar tanaman lainnya.

Dari pemaparan mengenai hasil penelitian-penelitian yang telah saya sampaikan, para peneliti belum mempertimbangkan keadaan tanah berlapis. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya adalah memodelkan permasalahan infiltrasi dari saluran irigasi periodik di dalam tanah berlapis (Solekhudin dkk, 2018). Pada penelitian ini, pada model matematikanya, parameter besar butiran tanah diasumsikan sebagai rata-rata parameter-parameter besar butiran tanah di lapisan atas dan bawah sebagaimana asumsi yang digunakan oleh Watson dan Whisler (1972). Setelah itu, saat solusi numerik yang diperoleh diinterpretasikan kembali ke permasalahan awal, barulah parameter butiran tanah yang sesungguhnya diaplikasikan. Dengan asumsi tersebut, fenomena pada batas lapisan (*interface*) tidak teramati.

Adanya kelemahan ini, studi tersebut dikembangkan oleh Solekhudin (2020) dengan menghilangkan asumsi mengenai parameter butiran tanah yang telah saya paparkan pada studi sebelumnya. Pada studi ini, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan solusi numerik permasalahan

infiltrasi yang dikonstruksi serta diselesaikan secara analitik oleh De Luca dan Cepeda (2016), menggunakan DRBEM. Hal ini dilakukan untuk mengecek keakuratan DRBEM. Sebagaimana pada masalah infiltrasi dengan serapan air oleh akar tanaman, DRBEM yang telah dikonstruksikan tidak dapat secara langsung digunakan untuk menyelesaikan permasalahan De Luca dan Cepeda. Oleh karena itu, DRBEM dimodifikasi dengan menambahkan suatu metode iteratif di dalamnya. Dengan membandingkan solusi numerik yang diperoleh menggunakan DRBEM tersebut dengan solusi analitiknya, disimpulkan bahwa metode numerik ini memiliki akurasi yang baik. Lebih lanjut, metode numerik ini digunakan mensimulasikan distribusi air di dalam tanah, dan secara khusus untuk mengamati fenomena yang terjadi pada batas lapisan (*interface*) yang tidak teramati pada studi sebelumnya.

Hadirin yang saya muliakan,

Masih banyak arah penelitian yang dapat ditempuh untuk melakukan penelitian masalah infiltrasi dari saluran irigasi. Diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Dr. Munadi (saat itu sebagai mahasiswa S3) bersama saya beserta kolega saya yaitu Bapak Dr. Sumardi dan Bapak Atok Zulijanto, Ph.D. Diantara hasilnya adalah pengaplikasian DRBEM untuk menyelesaikan masalah infiltrasi dari suatu saluran irigasi dengan geometri penampang berbeda-beda (Munadi et al., 2019). Kemudian hasil ini dikembangkan dengan menambahkan kondisi adanya lapisan tanah yang tidak dapat ditembus oleh air.

Selain hasil-hasil penelitian yang telah saya paparkan, masih terdapat hal-hal yang belum diteliti berkaitan dengan infiltrasi di dalam tanah. Diantaranya adalah masalah infiltrasi di dalam tanah heterogen serta pengaruhnya terhadap serapan air oleh tanaman.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Sebelum saya mengakhiri pidato, perkenankan saya menyampaikan beberapa hal.

1. Model matematika adalah alat untuk menjembatani permasalahan nyata dengan permasalahan matematika. Diharapkan dengan mengubah permasalahan nyata menjadi permasalahan matematika, solusi dari permasalahan tersebut dapat diperoleh.
2. Untuk menyelesaikan model matematika yang sulit diselesaikan secara analitik, diperlukan suatu metode numerik. Dalam implementasi metode numerik tersebut, sering diperlukan algoritma serta pemrograman (menulis program) yang sesuai dengan metode numerik tersebut.
3. Model matematika untuk masalah infiltrasi, yaitu persamaan Richards, dapat diselesaikan menggunakan BEM atau DRBEM, untuk memberikan simulasi distribusi air di dalam tanah serta air yang diserap oleh akar tanaman.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Untuk mengakhiri pidato saya ini, izinkan saya untuk menyampaikan rasa terima kasih saya kepada berbagai pihak yang telah berjasa, membantu dan berkontribusi terhadap kelancaran dan kesuksesan dalam perjalanan karir akademik saya.

Pertama-tama, saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar dalam bidang Komputasi Matematika.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi saya sampaikan kepada Pimpinan Universitas, Ketua dan Sekretaris Dewan Guru Besar, dan Ketua dan Sekretaris Senat Akademik Universitas Gadjah Mada yang telah menyetujui dan mengusulkan pengangkatan saya sebagai Guru Besar. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada Dekan dan Wakil Dekan, Pimpinan dan Anggota Senat Fakultas, dan Semua Guru Besar FMIPA UGM yang telah menyetujui usulan kenaikan jabatan saya menjadi Guru Besar.

Selanjutnya, saya mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Guru-guru saya di SDN 1 Sumurkidang, SMPN 1 Bantarbolang dan SMAN 1 Pemalang, serta Dosen-dosen saya di Departemen Matematika khususnya Program Studi Matematika FMIPA UGM dan di Mathematics and Mathematics Education, National Institute of Education, Nanyang Technological University, atas bekal ilmu serta pendidikan yang diberikan kepada saya semenjak SD sampai dengan S3 saya. Semoga amal kebaikan Bapak-bapak dan Ibu-ibu semuanya mendapatkan balasan yang sesuai dari Allah *subhanahu wata'ala*.

Secara khusus, saya mengucapkan terimakasih kepada Bapak Drs. Yusuf, M.A. dan Mendiang Bapak Drs. Sri Tunjung Widyakumara, S.U. (alm.) atas bimbingannya saat saya menyelesaikan tugas seminar saat menempuh pendidikan sarjana di Jurusan Matematika FMIPA UGM. Selanjutnya saya ingin mengucapkan terimakasih dan rasa hormat kepada Guru, Teladan, serta Pembimbing tesis saya di program magister Jurusan Matematika FMIPA UGM, Bapak Prof. Dr. Soeparna Darmawijaya. Ucapan terimakasih setinggi-tingginya juga saya sampaikan kepada Prof. Ang Keng-Cheng selaku promotor dan supervisor saya saat menempuh pendidikan S3 di NTU,

Singapura, yang telah mengajarkan dan melatih saya mengasah kemampuan dalam hal meneliti dan menulis paper.

Kepada rekan-rekan Lab. Analisis: Bapak Prof. Dr. Supama, Ibu Prof. Dr. Ch. Rini Indrati, Bapak Atok Zulijanto, Ph.D., Ibu Umi Mahnuna Hanung, M.Sc., Ibu Dewi Kartika Sari, Ph.D., Ibu Nur Khusnussa'adah, M.Sc., Bapak Hadrian Andradi, Ph.D., Bapak Made Tantrawan, Ph.D. serta Bapak Made Benny W., M.Sc., juga rekan-rekan Lab. Komputasi Matematika: Bapak Dr. Sumardi, Ibu Zenith Purisha, Ph.D., Bapak Ari Dwi Hartanto, M.Sc., Bapak Rudi Adha H., M.Si., serta Bapak Ivan Lutfi I., M.Sc., terimakasih atas kebersamaan selama ini. Kepada Prof. Lee Peng Yee, terimakasih tak terhingga atas support serta diskusi hampir setiap seminggu sekali di saat makan siang selama saya menempuh pendidikan S3 di NTU, Singapura. Kepada Bapak Prof. Moh. Ivan Azis, Ph.D., dari UNHAS, terimakasih atas diskusi serta kolaborasi riset yang selama ini berjalan. Untuk teman-teman saya di FKRM, terimakasih atas pertemanan dan saling support saat menempuh pendidikan sarjana.

Kepada saudara-saudara saya: Mba Nadiroh-Mas Han, Mba Maftuhah, Mas Syaifudin, Mas Najmuddin, Mendiang Mba Janah *rohimahalloh*, Mendiang Dik Faizah *rohimahalloh*, Dik Atul, Dik Nur-Adi, Dik Fasihah-Endra, Dik Imam Sa'duddin-Nafsi dan Dik 'Azizah, maturnuwun atas do'a, persaudaraan dan kebersamaan semenjak kecil. Saya juga mengucapkan terimakasih kepada saudara-saudara ipar saya atas doanya. Paklik Muchari-Bulik Leli, Bapak mertua saya, Bapak Sardji dan ibu mertua saya, Ibu Chotimah, matur sembah nuwun atas dukungan dan doanya.

Kakek saya mendiang H. Ali *rohimahulloh* dan nenek saya mendiang Hj. Nafisah *rohimahalloh*, penghormatan tak

terhingga atas kasih sayang yang begitu besar dan dongeng-dongengnya yang selalu saya tunggu-tunggu. Penghargaan, cinta, penghormatan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada bapak saya mendiang H. Muhammad Masduki *rohimahulloh* yang menjadi Guru ngaji sekaligus Guru Matematika pertama saya, bimbingan beliau memunculkan kecintaan saya terhadap matematika. Emak saya Siti Rahayu yang selalu menyayangi, mengasihi, mencintai dan mendoakan saya agar saya sehat, selamat, dan sukses dunia dan akhirat, *matur sembah nuwun* atas semuanya.

Terakhir dan teristimewa, penghargaan yang tinggi dan rasa terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada buah-buah hati saya: Ibrohim, ‘Ammar, ‘Ali, Yazid, dan Shofia Hilyatul Karimah, serta istriku, teman hidupku, Laili Nurjannah yang telah dengan setia dan sabar menemani hari-hari saya, baik di kala susah maupun senang, meneguhkan hati dan langkah saya dalam menghadapi cobaan-cobaan kehidupan.

Akhir kata, terima kasih atas kesabaran para hadirin dalam mendengarkan pidato saya. Mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada hal-hal yang kurang berkenan. Sekian dan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

Azis, M. I., Clements, D. L. and Lobo, M. (2003), *A Boundary Element Method for Steady Infiltration from Periodic Channels*, Australian and New Zealand Industrial and Applied Mathematics, 44(E): C61–C78.

Batu, V. (1978), *Steady Infiltration from Single and Periodic Strip Sources*, Soil Science Society of America Journal, 42(4): 544 - 549.

Bezine, G. (1980), *A Mixed Boundary Integral-Finite Element Approach to Plate Vibration Problems*, Mechanics Research Communications, 7(3): 141 - 150.

Booher, L. J. (1974), *Surface Irrigation*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Brebbia, C. A. (1978), *The Boundary Element Method for Engineers*. Pantech Press., London.

Clements, D. L., Lobo, M. and Widana, N. (2007), *A Hypersingular Boundary Integral Equation for a Class of Problems Concerning Infiltration from Periodic Channels*, Electronic Journal of Boundary Elements, 5(1): 1 – 16.

Clements, D. L. and Lobo, M. (2010), *A BEM for time dependent infiltration from an irrigation channel*, Engineering Analysis with Boundary Elements, 34(12): 1100 – 1104.

De Luca, D. L. and Cepeda J. M. (2016), *Procedure to obtain analytical solutions of one-dimensional Richard's equation for infiltration in two-layered soils*, J. Hydrol. Eng., 21(7): 04016018-1– 04016018-11.

Fredholm, I. (1903), *Sur Une Classe d'Equations Fonctionnelles*, Acta Mathematica, 27(1): 365 - 390.

Jaswon, M. A. (1963), *Integral Equation Methods in Potential Theory I*, Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 275(1360): 23 - 32.

Lobo, M., Clements, D. L. and Widana, N. (2005), *Infiltration from Irrigation Channels into Soils with Impermeable Inclusions*, Australian and New Zealand Industrial and Applied Mathematics, 46(E): C1055–C1068.

Lobo, M. (2008), *Boundary Element Methods for A Class of Infiltration Problems*, PhD Thesis, Adelaide University.

Munadi, Solekhuudin, I., Sumardi and Zulijanto, A. (2019), *Steady Water Flow from Different Types of Single Irrigation Channel*, JP Journal of Heat and Mass Transfer, 16(1): 95 – 106.

Munadi, Solekhuudin, I., Sumardi and Zulijanto, A. (2020), *A Numerical Study of Steady Infiltration from a Single Irrigation Channel with an Impermeable Soil Layer*, Engineering Letters, 28(3): 1 – 8.

Nardini, D. and Brebbia, C. A. (1982), *A New Approach to Free Vibration Analysis using Boundary Elements*. In: C. A. Brebbia (Ed.), Proceedings of the 4th International Conference on BEM, Springer-Verlag, Berlin, pp. 313 - 326.

Nardini, D. and Brebbia, C. A. (1986), *Transient Boundary Element Elastro- dynamics using the Dual Reciprocity Method and Modal Superposition*. In: M. Tanaka and C. A. Brebbia (Eds.), Boundary Element VIII, Proceedings of the 8th

International Conference I. Computational Mechanics Publications, Southampton, pp. 435 – 443.

Pozrikidis, C. (2002), *A Practical Guide to Boundary Element Methods with the Software Library BEMLIB*. Chapman & Hall/CRC.

Prager, W. (1928), *Die Druckverteilung an Körpern in Ebener Potential-strömung*, Physikalische Zeitschrift, 29: 865 – 869.

SolekHUDIN, I. and Ang, K. C. (2012), *A DRBEM with a predictor–corrector scheme for steady infiltration from periodic channels with root-water uptake*, Engineering Analysis with Boundary Elements, 36: 1199 – 1204.

SolekHUDIN, I. (2013), *Dual Reciprocity Boundary Element Methods for Water Infiltration Problems in Irrigation*, Ph.D. Thesis, NTU Singapore.

SolekHUDIN, I. and Ang, K. C. (2013), *A Dual-Reciprocity Boundary Element Methods for Steady Infiltration Problems*, Australia and New Zealand Industrial and Applied Mathematics Journal, 54: 171 – 180.

SolekHUDIN, I. and Ang, K. C. (2015), *A Laplace transform DRBEM with a predictor–corrector scheme for time-dependent infiltration from periodic channels with root-water uptake*, Engineering Analysis with Boundary Elements, 50: 141 – 147.

SolekHUDIN, I., Purnama, D., Malysa, N. H., Sumardi (2018), *Characteristic of Water Flow in Heterogeneous Soils*, JP Journal of Heat and Mass Transfer, 15(3): 597 – 608.

Symm, G. T. (1963), *Integral Equation Methods in Potential Theory II*, Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 275(1360): 33 – 46.

Treffitz, E. (1917), *Über die Kontraktion Kreisförmiger Flüssigkeitsstrahlen*, Zeitschrift für Mathematik und Physik, 64: 34 – 61.

Watson, K. K. and Whisler, F. D. (1972), *Numerical analysis of drainage of a heterogeneous porous medium*, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 251-256.

BIODATA

Nama : Imam Solekhudin
 Tempat, tanggal lahir : Pemalang, 20-02-1979
 NIP : 197902202002121001
 Jabatan : Guru besar dalam bidang Komputasi Matematika di Departemen Matematika Fakultas MIPA UGM

Alamat Kantor : Departemen Matematika FMIPA UGM Sekip Utara, 55281

Alamat Rumah : Perum Selo Permata Asri 22, Selomartani, Kalasan, Sleman, Yogyakarta.

Keluarga:

- Istri : Laili Nurjannah
- Anak : 1. Ibrohim (21 Tahun)
2. ‘Ammar (19 Tahun)
3. ‘Ali (17 Tahun)
4. Yazid (15 Tahun)
5. Shofia Hilyatul Karimah (9 Tahun)

Riwayat Pendidikan:

- 1995 – 1999 : S1 Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- 2001 – 2004 : S2 Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- 2009 – 2014 : S3 Nanyang Technological University, Singapore.

Riwayat Pekerjaan :

- 2000 – kini : Dosen di Departemen Matematika FMIPA UGM.

- 2016 – 2021 : Kepala Lab. Analisis
- 2022 – kini : Kepala Lab. Komputasi Matematika
- 2022 – kini : Anggota Senat Fakultas MIPA UGM

Publikasi Ilmiah (beberapa contoh):

1. I. Solekhudin and K. C. Ang, 2012, “A DRBEM with a predictor-corrector scheme for steady infiltration from periodic channels with root-water uptake”, *Engineering Analysis with Boundary Elements* 36(8), 1199 - 1204.
2. I. Solekhudin and K. C. Ang, 2013, “A dual reciprocity boundary element method for steady infiltration problems”, *Australia New Zealand Industrial and Applied Mathematics Journal* 54(3), 171 - 180.
3. I. Solekhudin and K. C. Ang, 2015, “A Laplace transform DRBEM with a predictor-corrector scheme for time-dependent infiltration from periodic channels with root-water uptake”, *Engineering Analysis with Boundary Elements* 50, 141 - 147.
4. I. Solekhudin, 2018, A numerical method for time-dependent infiltration from periodic trapezoidal channels with different types of root-water uptake, *IAENG International Journal of Applied Mathematics* 48(1), 84 – 89.
5. Munadi, I. Solekhudin, Sumardi and A. Zulijanto, 2020, A numerical study of steady infiltration from a single irrigation channel with an impermeable soil layer, *Engineering Letters* 28(3), 643 – 650.
6. M. I. Azis, I. Solekhudin, M. H. Aswad and A. R. Jalil, 2020, Numerical simulation of two-dimensional modified Helmholtz problems for anisotropic functionally graded materials, *Journal of King Saud University-Science* 32(3), 2096 – 2102.

7. I. Solekhudin, 2020, Boundary interface water infiltration into layered soils using dual reciprocity methods, *Engineering Analysis with Boundary Elements* 119, 280 – 292.
8. M. I. Azis, I. Solekhudin, M. H. Aswad, S. Hamzah and A. R. Jalil, 2021, A combined laplace transform and boundary element method for unsteady laplace problems of several classes of anisotropic functionally graded materials, *Engineering Letters* 29(2), 534 – 542.
9. M. I. Azis, M. Abbaszadeh, M. Dehghan and I. Solekhudin, 2021, A boundary-only integral equation method for parabolic problems of another class of anisotropic functionally graded materials, *Materials Today Communications* 26, 101956.
10. N. Y. Ashar and I. Solekhudin, 2021, A numerical study of steady pollutant spread in water from a point source, *Engineering Letters* 29(3), 840 – 848.
11. A. A. N. Pramesti and I. Solekhudin, 2022, Implementation of Dual Reciprocity Boundary Element Method for Heat Conduction Problems in Anisotropic Solid, *IAENG International Journal of Applied Mathematics* 52(1), 122 – 130.
12. I. Solekhudin and M.I. Azis, 2023, A Dual Reciprocity Method for a Class of Heat Conduction Problems in Two-Layered Materials, *IAENG International Journal of Computer Science* 50(1), 142 – 151.

Penghargaan :

- Dean's commendation for research, NIE-NTU, Singapore, 2012.
- Dean's commendation for research, NIE-NTU, Singapore, 2013.
- Dean's commendation for research, NIE-NTU, Singapore, 2015.